

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Т.В. Косенко**

**ГЕОТРОНІКА ТА МАРКШЕЙДЕРСЬКА СПРАВА:  
Частина I. ГЕОТРОНІКА**

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою  
«Геоінженерія»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2019

Рецензент Жукова Н.І., канд. техн. наук, ст. викладач кафедри інженерної екології

Відповідальний редактор Стовпник С.М., канд. техн. наук, доц. кафедри геоінженерії

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 01.04.2019 р.)  
за поданням Вченої ради ІЕЕ (протокол № 9 від 25.02.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Косенко Тетяна Володимирівна, ст. викладач*

## **ГЕОТРОНІКА ТА МАРКШЕЙДЕРСЬКА СПРАВА:**

### **Частина I. ГЕОТРОНІКА**

#### **ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Геотроніка та маркшейдерська справа: Частина I. Геотроніка: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Геоінженерія»/ Т.В. Косенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,1 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 70 с.

У лабораторному практикумі викладено основні положення щодо виконання лабораторних робіт, тематика яких обіймає розділи курсу з вивчення лінійних вимірювань, кутових вимірювань, нівелювання лінійних споруд, визначення положення точок на земній поверхні, проведення тахеометричної та інших видів зйомок за допомогою сучасних геодезичних приладів. Навчальне видання містить завдання до роботи, основні теоретичні відомості, порядок виконання роботи, приклади оформлення та розрахунків та запитання для самоперевірки.

У посібнику розглянуто: основні питання з визначення положення точок на земній поверхні із застосуванням топографічних карт, а саме масштабу карти, координат точок, абсолютних відміток точок, орієнтувальних кутів; будову, принцип дії та область застосування сучасних геодезичних приладів; методики проведення і обробки результатів геодезичних зйомок.

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 184 «Гірництво», освітньою програмою «Геоінженерія».

© Т.В. Косенко, 2019

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Передмова.....   | 4  |
| Лабораторна робота № 1. Розв’язування задач на топографічних планах і картах.....  | 5  |
| Лабораторна робота № 2. Лінійні вимірювання на місцевості.....   | 14 |
| Лабораторна робота № 3. Вивчення будови теодоліта, виконання перевірок, вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.....             | 19 |
| Лабораторна робота № 4. Прокладання теодолітного ходу та обчислення координат його вершин.....   | 30 |
| Лабораторна робота № 5. Вивчення будови нівелірів, засвоєння техніки нівелювання, проведення поздовжнього геометричного нівелювання..... | 40 |
| Лабораторна робота № 6. Тахеометрична зйомка. Складання топографічного плану.....  | 50 |
| Лабораторна робота № 7. Нівелювання траси. Побудова поздовжнього профілю траси.....  | 59 |
| Література.....  | 70 |

## ПЕРЕДМОВА

Дане навчальне видання призначено для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 184 «Гірництво» денної та заочної форми навчання відповідно до робочої програми кредитного модуля «Геотроніка та маркшейдерська справа-1. Геотроніка».

Лабораторні роботи або контрольні завдання можуть бути успішно і якісно виконані тільки після попередньої підготовки відповідного розділу курсу. Лабораторні роботи № 2, 3, 5, 6 пов'язані безпосередньо з вивченням будови геодезичних приладів і виконуються студентами в лабораторних або польових умовах. Роботи № 1, 4, 6 пов'язані з камеральною обробкою результатів вимірювань на карті або в натурі. Робота № 7 виконується як розрахунково-графічна робота.

У протоколі лабораторної роботи треба навести мету роботи і завдання, дати короткі відповіді на кожне завдання з обов'язковим викладенням послідовності його виконання, поданням схеми приладу або схеми вимірювання.

Виконуючи розрахункові завдання, слід додержуватися таких правил:

- у роботах № 1, 4, 7 завдання виконуються індивідуально відповідно до вихідних даних варіанту, для кожного завдання вказується послідовність виконання;

- якщо у роботі є розрахунки, то спочатку записується відповідна формула, далі – числові значення у тій самій послідовності, що й буквені, і кінцевий результат. Далі дається розшифровка буквених символів формули, одиниці фізичних величин;

- плани, профілі і схеми виконуються відповідно до рекомендованих масштабів з додержанням прийнятих умовних знаків за державним стандартом.

Контрольні завдання і протоколи лабораторних робіт, виконані без додержання вказаних вимог, не зараховуються.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ НА ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНАХ І КАРТАХ

Мета роботи: набути навичок користування топографічною картою для розв'язування найпоширеніших інженерних задач.

#### 1.1. Завдання до роботи

1.1.1. Визначити фактичний масштаб карти, зображеної на рис. 1.1. (вкладка), вивчити умовні знаки топографічних карт і планів.

1.1.2. Визначити прямокутні координати точок 1 і 2 та довжину лінії.

1.1.3. Побудувати профіль місцевості за заданим напрямком 1-2, визначити кути нахилу окремих ділянок профілю, абсолютні відмітки кінцевих точок та ухил лінії.

1.1.4. Визначити географічні координати точок 1 і 2.

1.1.5. Визначити орієнтувальні кути лінії 1-2.

1.1.6. Вирішити пряму і зворотну геодезичну задачу за вихідними даними. Обрати масштаб та зробити креслення в масштабі.

#### 1.2. Устаткування для виконання лабораторної роботи

Топографічна карта, масштабна лінійка, транспортер, вимірювач або циркуль; олівець, аркуш міліметрового паперу, калькулятор, протокол роботи.

#### 1.3. Загальні положення та послідовність виконання роботи

##### 1.3.1. Визначення масштабу плану, карти

Масштаб – це ступінь зменшення довжини ліній місцевості на плані чи карті. Числовим масштабом називають відношення довжини лінії на плані або карті  $S_n$  до горизонтального закладання цієї самої лінії на місцевості  $S_m$ , тобто  $S_n : S_m = M$  (рис. 1.2, а). Масштаб записується у вигляді дробу, чисельник якого дорівнює одиниці, а знаменник – числу, що вказує на ступінь зменшення. Чим більший дріб, тим більший масштаб.

Масштаб 1:10000 означає, що одному міліметру на плані відповідає 10000 мм (10 м) на місцевості, одному сантиметру на плані відповідає 10000 см (100 м) на місцевості. Точність лінійного виміру на карті приймають рівною 0,1 мм, що відповідає відстані 1 м для масштабу 1:10000 і 0,2 м – для масштабу 1:2000. Тому і всі вимірювання на картах треба проводити з відповідною точністю.

Лінійний масштаб – це графічне вираження числового масштабу. Довжину одного відрізка називають основою масштабу  $b$ . Лінійний масштаб може бути простим (рис. 1.2, б) та поперечним (рис. 1.2, в). Останній дає змогу істотно підвищити точність вимірювання.

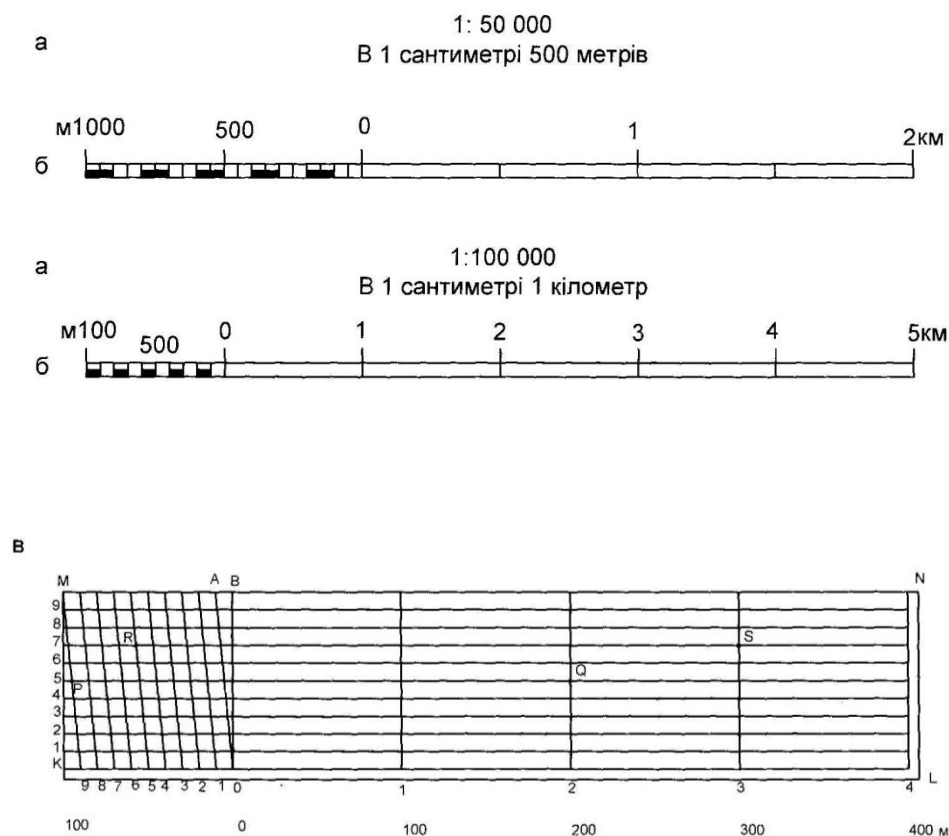


Рис. 1.2. Масштаби:  
а – числовий; б – лінійний; в – поперечний

Якщо відомі фактична довжина лінії  $S_m$  і її довжина на плані  $S_n$ , то можна визначити фактичне значення масштабу.

### 1.3.2. Визначення прямокутних координат на карті, плані

Прямокутні координати точки безпосередньо на карті визначають у такому порядку. Для заданої точки  $A$  (див. рис. 1.1) необхідно знайти найближче перехрестя лінії сітки з координатами  $x_0, y_0$ , виміряти відстані від точки  $A$  до ліній сітки  $\Delta x_A, \Delta y_A$  за допомогою поперечного масштабу і привести їх до відстаней в натурі зі своїми знаками відносно  $x_0$  та  $y_0$ . Після цього обчислюють координати точки:  $x_A = x_0 \pm \Delta x_A, y_A = y_0 \pm \Delta y_A$ . Аналогічні вимірювання та обчислення проводять і для точки  $B$ .

Наприклад, для точки  $A$  (див. рис. 1.1) координати  $x_A, y_A$  розраховуються наступним чином, якщо  $M$  1:10000, основа поперечного масштабу  $b=2$  см:

$$x_0 = 6068000 \text{ м},$$

$$\Delta x_A = 1,05 \cdot b \cdot M = 1,05 \cdot 2 \text{ см} \cdot 100 \text{ м/см} = 210 \text{ м},$$

$$x_A = x_0 \pm \Delta x_A = 6068000 + 210 = 6068210 \text{ м};$$

$$y_0 = 4313000 \text{ м},$$

$$\Delta y_A = 1,73 \cdot b \cdot M = 1,73 \cdot 2 \text{ см} \cdot 100 \text{ м/см} = 346 \text{ м},$$

$$y_A = y_0 \pm \Delta y_A = 4313000 - 346 = 4312654 \text{ м}.$$

### 1.3.3. Вивчення рельєфу місцевості, визначення висот точок і ухилу лінії

Вивчення рельєфу починають з визначення на карті напрямку підвищення та зниження місцевості. При цьому треба враховувати таке:

- 1) бергштрихи завжди напрямлені в бік зниження;
- 2) основу цифр, котрими підписані горизонталі, написано в напрямі схилу;
- 3) місцевість знижується до водойм і водостоків;
- 4) горизонталі перетинаються на водорозділах хребтів і тальвегах долин;
- 5) чим частіше пройдуть горизонталі, тим крутіше буде нахил поверхні.

Відмітку точки  $B$ , що розміщена між горизонталями, визначають за формулою:

$$H_B = H_0 \pm h_B, \quad (1.1)$$

де  $H_0$  – відмітка горизонталі, найближчої до точки  $B$ , м;  $h_B$  – перевищення точки  $B$  над цією горизонталлю, м:

$$h_B = \frac{l}{a} h \quad (1.2)$$

$l$  – відстань від точки до найближчої горизонталі, мм (см);  $a$  – відстань між сусідніми горизонталями в точці  $B$ , мм (см);  $h$  – висота перерізу, м.

Приклад 1. Знайти висоту точки  $B$  (рис. 1.1). Найближчою горизонталлю до точки  $B$  є горизонталь з позначкою  $H_0 = 175$  м, відстань до якої  $l = 5$  мм. Найкоротша відстань між горизонталями в точці  $B$  дорівнює  $a = 17$  мм. При  $h = 5$  м з формул (1.1) і (1.2) маємо:

$$h_B = \frac{-5}{17} \cdot 5 = -1,5$$

$$H_B = 175,0 - 1,5 = 173,5$$

Крутизну схилу можна оцінити або кутом нахилу  $\vartheta$ , або ухилом  $i$ . Параметри відповідних величин можна визначити за формулами:

$$\vartheta = 57,3^\circ \frac{h}{a} \quad (1.3)$$

$$i = \operatorname{tg} \vartheta = \frac{h}{a} \quad (1.4)$$

Простіше і швидше  $\vartheta$  та  $i$  визначають за графіками закладання, що наводяться на картах.

Середній ухил між двома заданими точками визначають за формулою:

$$i_{AB} = \frac{H_B - H_A}{d_{AB}} \quad (1.5)$$

де  $H_B$ ,  $H_A$  – абсолютні позначки заданих точок, м;  $d_{AB}$  – горизонтальна відстань між точками, м.

Видимість між двома точками визначають за допомогою побудованого профілю. Для цього на карті проводять профільну лінію між цими точками.



Потім на папері (краще – на міліметровому) проводять пряму лінію, яка є основою профілю. На неї з карти переносять точки перетину з горизонталями, водорозділами, тальвегами, сідловинами, вершинами. У знайдених точках на перпендикулярах відкладають висоти у вертикальному масштабі (який більший за горизонтальний у 20-50 разів). Кінці перпендикулярів з'єднують плавною лінією (рис. 1.3).

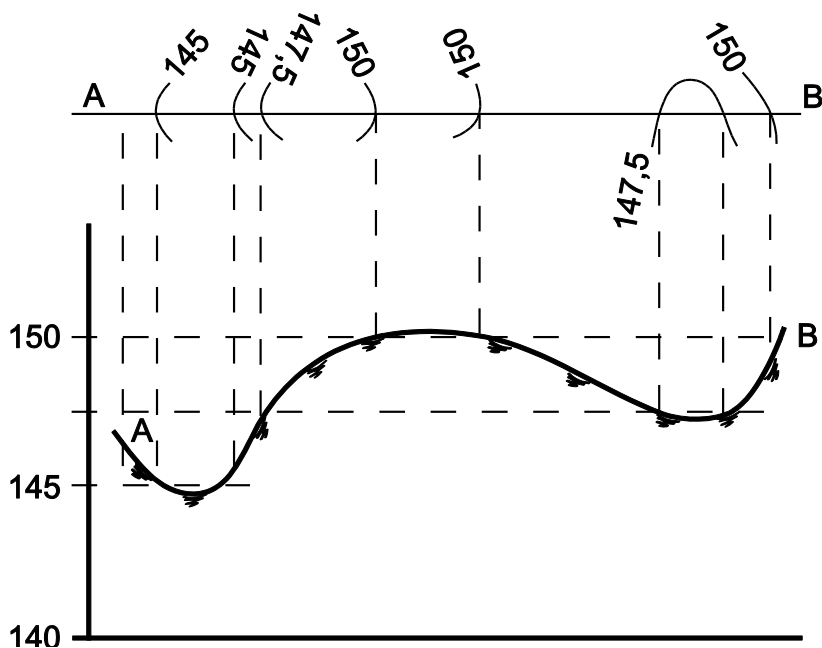


Рис. 1.3. Побудова профілю за напрямом А-В

#### 1.3.4. Визначення географічних координат точок

Для визначення географічних координат точок на карті використовується мінутна рамка (шкала мінут) картографічної сітки. Вона складається з двох паралельних ліній, які розділені на мінутні поділки. Крім того, кожна мінута поділена точками на шість десятисекундних відрізків.

На рис. 1.1 лівий зріз карти проходить по меридіану з довготою  $18^{\circ}03'45''$ , а верхній зріз – по паралелі з широтою  $54^{\circ}42'30''$ . Довготу заданої точки для великомасштабної карти можна визначити, провівши через точку лінію, паралельну найближчому зрізу карти, до перетину зі шкалою довготи, а широту – провівши через точку лінію, паралельну найближчій паралелі, до перетину зі шкалою широти.

**Приклад.** Визначити географічні координати точки  $A$  (рис. 1.1).

Довгота західного меридіану карти складає  $\lambda=18^{\circ}03'45''$ . Тоді, щоб визначити довготу точки  $A$ , треба до  $\lambda$  додати  $1'$  і  $51''$ , отже,  $\lambda_A=18^{\circ}05'36''$ . Аналогічно визначається широта точки. Широта північної паралелі карти відома –  $\varphi = 54^{\circ}42'30''$ . Щоб визначити широту точки  $A$  від  $\varphi$  треба відняти  $16''$ . Таким чином,  $\varphi_A=54^{\circ}42'14''$ .

### 1.3.5. Визначення орієнтувальних кутів

Орієнтувати лінію на місцевості – значить знайти її напрям відносно меридіана. За орієнтувальні кути приймають азимути, дирекційні кути та румби.

**Азимут** називають горизонтальний кут, що відліковується за ходом годинникової стрілки від північного напрямку меридіана до заданого напрямку.

Азимут називають справжнім  $A$ , якщо він відліковується від справжнього (географічного) меридіана, і магнітним ( $A_M$ ) – від магнітного. Азимут вимірюють у межах від  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ .

Азимут прямого напрямку  $P_1P_2$  (рис. 1.4) називають прямим ( $A_{1-2}$ ), зворотного напрямку  $P_2P_1$  – зворотним ( $A_{2-1}$ ).

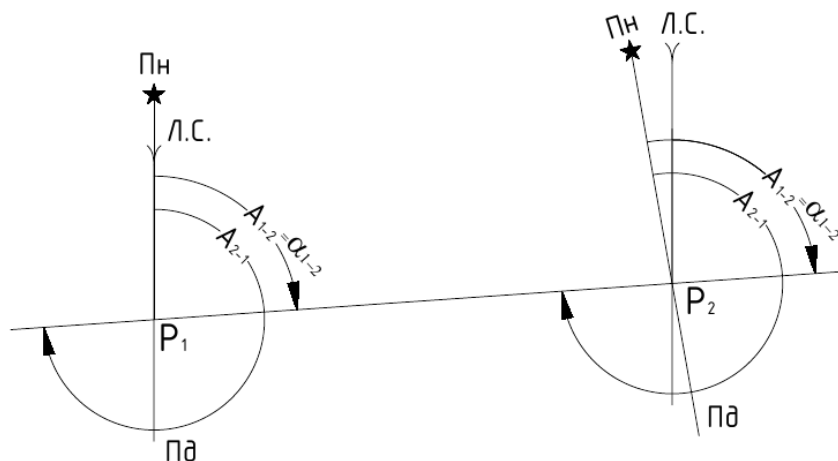


Рис. 1.4. Зв'язок між прямим і зворотним напрямком

Меридіани не паралельні між собою. Тому кут між напрямом двох меридіанів у двох даних точках називають **зближенням меридіанів** ( $\gamma$ ).

Залежність між прямим і зворотнім азимутами має вигляд:

$$A_{1-2} = A_{1-2} \pm 180^\circ + \gamma \quad (1.6)$$

**Дирекційний кут**  $\alpha$  відліковується від північного напрямку осьового меридіану або паралельної йому лінії сітки за ходом годинникової стрілки до заданого напрямку. Дирекційний кут змінюється в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Залежність між справжнім азимутом і дирекційним кутом виражається формулою:

$$A = \alpha \pm \gamma \quad (1.7)$$

Зближення меридіанів точок, розміщених на схід від меридіана, мають знак "+", на захід – знак "-".

Дирекційні кути прямого і зворотного напрямків відрізняються на  $180^\circ$ , тобто

$$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} \pm 180^\circ. \quad (1.8)$$

Знак «–» приймають у випадках, коли  $\alpha_{1-2} > 180^\circ$ .

Зв'язок між магнітним і справжнім азимутами виражається формулою:

$$A_m = A \pm \delta \quad (1.9)$$

де  $\delta$  – кут між площинами магнітного і справжнього меридіанів; він має назву **магнітного схилення**. Східний нахил стрілки беруть зі знаком "+", західний – зі знаком "-".

На практиці замість азимутів і дирекційних кутів користуються румбами (табличними кутами).

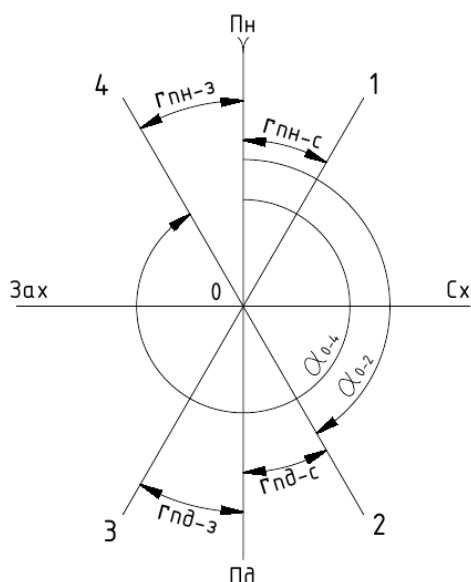
**Румбом**  $r$  називають гострий кут між північним або південним напрямом і заданим. Позначення румбів з індексами, що показують чверть, показано на рис. 1.5. У табл. 1.1 розглянуто зв'язок між  $r$  і  $\alpha$ .

Таблиця 1.1.

**Зв'язок між румбами і азимутами**

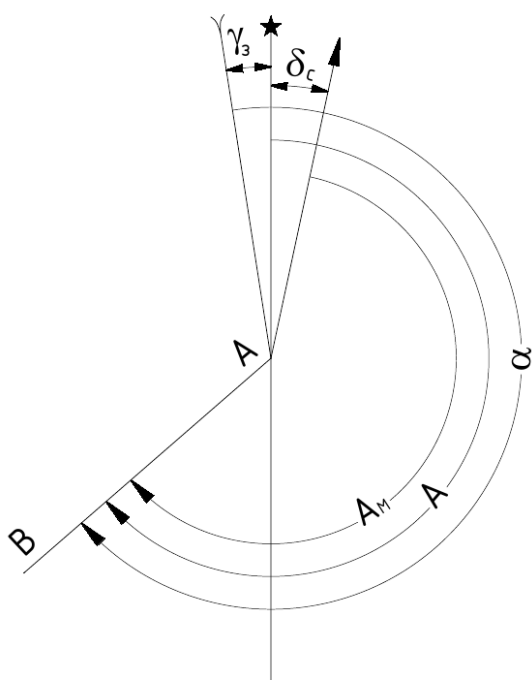
| Номер і назва чверті |             | Діапазон дирекційних кутів | Румб/табличний кут       |
|----------------------|-------------|----------------------------|--------------------------|
| 1.                   | Пн.-східна  | 0°-90°                     | $r = \alpha$             |
| 2.                   | Пд.-східна  | 90° -180°                  | $r = 180^\circ - \alpha$ |
| 3.                   | Пд.-західна | 180° -270°                 | $r = \alpha - 180^\circ$ |
| 4.                   | Пн.-західна | 270° -360°                 | $r = 360^\circ - \alpha$ |

Рис. 1.5. Зв'язок між румбами і азимутами



**Приклад.** Визначити орієнтувальні кути (дирекційний кут (прямий і зворотній), справжній і магнітний азимути, румб) лінії  $AB$ , вказаної на карті (рис. 1.1), якщо  $\gamma_3=2^\circ 24'$ ,  $\delta_c=6^\circ 12'$ .

Схему орієнтувальних кутів лінії  $AB$  наводимо на рис. 1.6. Дирекційний кут  $\alpha_{AB}$  лінії  $AB$  вимірюється транспортиром безпосередньо на карті:  $\alpha_{AB}=236^\circ 20'$ .

Рис. 1.6. Орієнтуючі кути лінії  $AB$ 

Зворотний дирекційний кут визначається за формулою (1.8):

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ = 236^\circ 20' - 180^\circ = 56^\circ 20'.$$

За формулою (1.7) визначається справжній азимут:

$$A_{AB} = \alpha_{AB} - \gamma_3 = 236^\circ 20' - 2^\circ 22' = 233^\circ 58'.$$

Магнітний азимут визначається за формулою (1.9):

$$A_{MAB} = A_{AB} - \delta_c = 233^\circ 58' - 6^\circ 12' = 227^\circ 46'.$$

Оскільки точка  $B$  знаходиться в третій чверті, румб – південно-західний – визначається за формулою:

$$r_{пд-зх} = \alpha_{AB} - 180^\circ = 236^\circ 20' - 180^\circ = 56^\circ 20'.$$

### 1.3.6. Розв'язання прямої і зворотної геодезичної задачі

Розв'язання **прямої геодезичної задачі** зводиться до знаходження координат точки 2 ( $x_2, y_2$ ), якщо відомі координати точки 1 ( $x_1, y_1$ ), горизонтальна відстань між точками  $d$  і дирекційний кут  $\alpha_{1-2}$  лінії 1-2. Відповідно до рис. 1.7 можна визначити:

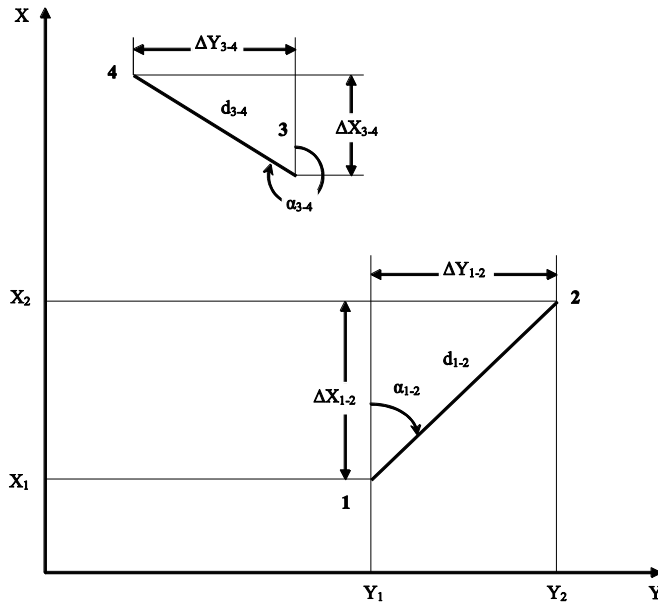


Рис.1.7. Прямі і зворотні геодезичні задачі

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha_{1-2} \quad (1.10)$$

$$\Delta y = d \cdot \sin \alpha_{1-2} \quad (1.11)$$

$$x_2 = x_1 + \Delta x \quad (1.12)$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y \quad (1.13)$$

Знак приписування координат  $\Delta x$  і  $\Delta y$  залежить від напрямку лінії, від її дирекційного кута. На рис. 1.7, наприклад, для лінії 1-2 і 3-4 маємо відповідно  $+\Delta x, +\Delta y$  і  $+\Delta x, -\Delta y$ .

**Зворотня геодезична задача** полягає у визначенні відстані  $d$  між точками 1, 2 і дирекційного кута  $\alpha_{1-2}$  при заданих координатах точок ( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ ). Дирекційний кут визначається з виразу:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.14)$$

а відстань між точками – з формул (1.10), (1.11), або за формулою:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (1.15)$$

## 1.4. Висновки

У кінці роботи наводяться основні результати роботи та їх аналіз.

## 1.5. Запитання для самоперевірки

1. Дайте визначення основним поняттям: земний сфероїд, рівнева поверхня, геоїд.

2. Які системи координат використовуються в геодезії? Їхні параметри, суть.
3. Поясніть суть системи плоских прямокутних координат Гауса-Крюгера, методи їх визначення на карті.
4. Які кути використовують в геодезії для орієнтування ліній, у чому їх сутність? Покажіть приклади зв'язку між орієнтуючими кутами.
5. Що таке топографічні плани і карти, який принцип їх побудови? Масштаби, їх види; умовні знаки.
6. Які види задач розв'язуються з допомогою топографічної карти? Покажіть на прикладах.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2**

### **ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ НА МІСЦЕВОСТІ**

Мета роботи – освоїти техніку вимірювання довжин ліній мірними стрічками та далекомірами.

#### **2.1. Завдання по роботі**

2.1.1. Ознайомитися з принципом вимірювання відстаней безпосереднім і опосередкованим способами.

2.1.2. Провести вимірювання довжин ліній мірною стрічкою. Встановити точність вимірювання. Визначити горизонтальне прокладання.

2.1.3. Провести вимірювання довжин ліній нитковим далекоміром. Визначити сталі далекоміра. Визначити горизонтальне прокладання.

#### **2.2. Устаткування й прилади для виконання роботи**

Мірна стрічка; теодоліт-тахеометр; штатив; нівелірна рейка; протокол роботи.

## 2.3. Загальні положення. Послідовність виконання роботи

### 2.3.1. Вимірювання довжин ліній мірними стрічками

Для вимірювання довжини лінії  $AC$  мірною стрічкою її розбивають на ділянки з приблизно однаковими кутами нахилу, закріплюють ділянку кілочками, накреслюють схему виміру, виконують вішення лінії. Вимірювання виконують дві людини і результати вимірювання довжини кожної ділянки записують в журнал.

Довжину ліній визначають за формулою:

$$D = nl + r + \Delta D_t \quad (2.1)$$

де  $n$  – число цілих відкладень стрічки;  $l$  – довжина стрічки, м;  $r$  – залишок довжини (менш як  $l$ ), м;  $\Delta D_t$  – поправка до довжини лінії на температурне розширення, якщо різниця температури при вимірюванні та компаруванні перевищує  $8^\circ\text{C}$ .

Кожну з ділянок теодолітного ходу вимірюють у прямому й зворотному напрямках ( $D_{\text{пр}}$ ,  $D_{\text{зв}}$ ).

Результати записують у журнал (табл. 2.1) і перевіряють виконання нерівності:

$$\frac{D_{\text{пр}} - D_{\text{зв}}}{D_{\text{пр}}} \leq f_{D_{\text{доп}}} \quad (2.2)$$

$$\Delta D \leq \Delta D_{\text{доп}}$$

де  $f_{D_{\text{доп}}}$  – відносна допустима похибка вимірювання (для  $M$  1:500 і  $M$  1:1000 дорівнює відповідно 1/3000 і 1/2000);  $\Delta D_{\text{доп}} = D_{\text{пр}} f_{D_{\text{доп}}}$  – допустима похибка.

При виконанні нерівності (2.2) беруть середню величину з двох вимірювань:

$$D = \frac{D_{\text{пр}} + D_{\text{зв}}}{2} \quad (2.3)$$

У разі невиконання нерівності вимірювання повторюють.

Таблиця 2.1.

**Журнал лінійних вимірювань**

| Номер ділянки /лінії/ | $n$ | $r$ , м | $D_{np}$ ,<br>$D_{зв}$ | $\Delta D$ , м | $\Delta D_{доп}$ , м | $D$ , м | $\vartheta$ | $d$ , м |
|-----------------------|-----|---------|------------------------|----------------|----------------------|---------|-------------|---------|
| 1-2                   | 16  | 12,73   | 332,73                 | 0,15           | 0,17                 | 332,66  | 4°30'       | 331,63  |
| 2-1                   | 16  | 12,58   | 332,58                 |                |                      |         |             |         |

Для похилих ділянок вимірюють кут нахилу лінії  $\vartheta$  за допомогою теодоліта-тахеометра. При кутах нахилу більших  $2^\circ$  ( $\vartheta > 2^\circ$ ), визначають проекцію цієї лінії на горизонтальну площину (горизонтальне прокладання):

$$d = D \cos \vartheta \quad (2.4)$$

**2.3.2. Вимірювання довжин ліній нитковим далекоміром**

Під час вимірювання відстаней нитковим далекоміром прилад встановлюють над точкою  $N$  (рис. 2.1, а), а рейку в точці  $M$ . По додатковим (далекомірним) ниткам  $a'$  і  $b'$  в полі зору труби (рис. 2.1, б) беруть далекомірний відлік  $AB=l$ , а відстань між точками  $N$  і  $M$  –  $D$ , визначають за формулою:

$$D = D' + f + \delta \quad (2.5)$$

де  $D'$  – відстань від переднього фокуса об'єктива  $F$  до рейки;  $f$  – фокусна відстань об'єктива зорової труби;  $\delta$  – відстань від об'єктива до вертикальної осі теодоліта.

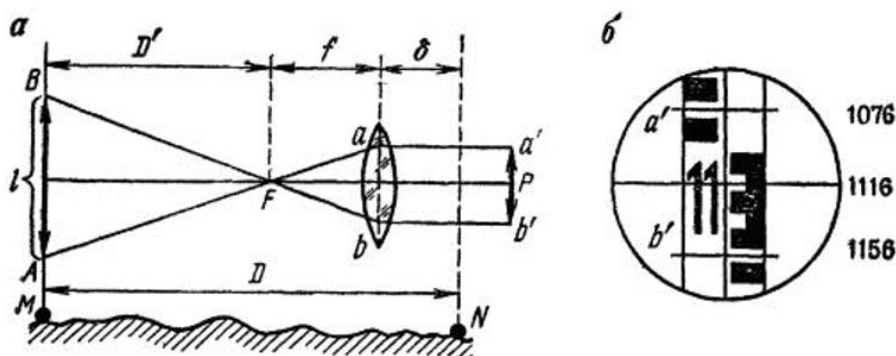


Рис. 2.1. Нитковий далекомір: а) оптична схема; б) поле зору труби.

Відрізок  $D'$  визначають з подібності трикутників  $ABF$  і  $abF$ :



$$D' = \frac{f}{P} l \quad (2.6)$$

Відношення  $\frac{f}{P} = K$  називають *коефіцієнтом далекоміра*, а суму  $f + \delta = c$  – *постійною далекоміра*.

Таким чином, для зорової труби з зовнішнім фокусуванням відстань по нитковому далекоміру розраховують за формулою:

$$D = Kl + c \quad (2.7)$$

При зйомці в масштабі 1:5000 і менше величиною  $c$  нехтують і відстань визначають за формулою:

$$D = Kl \quad (2.8)$$

Горизонтальну відстань між точками  $N$  і  $M$  (при куті нахилу  $\vartheta > 0^\circ$ ) визначають за формулою:

$$\begin{aligned} \text{при } \vartheta > 2^\circ \quad d &= D \cdot \cos^2 \vartheta \\ \text{при } \vartheta \leq 2^\circ \quad d &= D \end{aligned} \quad (2.9)$$

За відсутності даних про значення сталих далекоміра їх визначають у польових умовах. Якщо труба теодоліта з внутрішнім фокусуванням, то коефіцієнт  $K$  і  $c$  можна визначити за результатами кількох вимірювань (рис. 2.2).

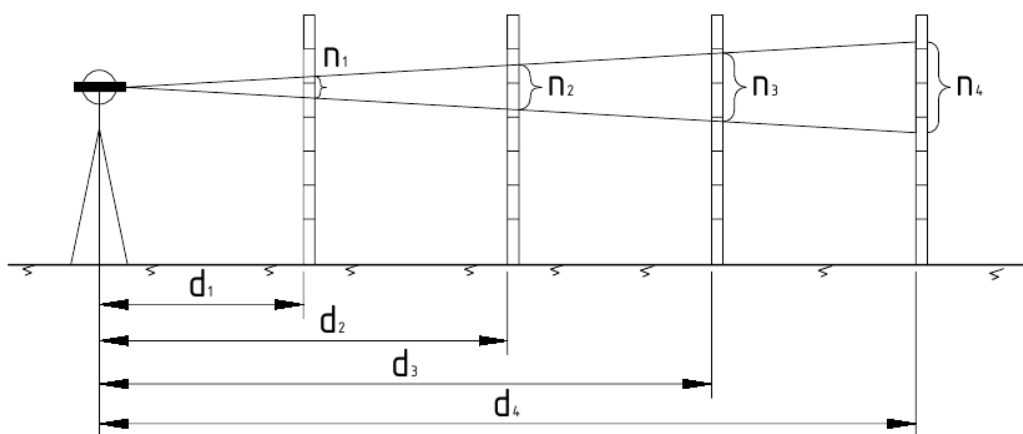


Рис. 2.2. Визначення сталих далекоміра

Для цього ділянку АВ довжиною 80 м поділяють на 4 ділянки по 20 м, закріплюють кілочками. Беруть відліки і складають рівняння:

$$d_1 = Kl_1 + c ; d_2 = Kl_2 + c ; \quad (2.10)$$

$$d_3 = Kl_3 + c ; d_4 = Kl_4 + c$$

Віднявши послідовно від рівняння (2) рівняння (1), від (3) – (2) і т.д. дістаємо:

$$K = \frac{d_2 - d_1}{l_2 - l_1} \quad K = \frac{d_3 - d_2}{l_3 - l_2} \quad K = \frac{d_4 - d_3}{l_4 - l_3} \quad (2.11)$$

З трьох рівнянь (2.11) знаходять середні значення:

$$\bar{K} = \frac{\sum K}{3} \quad (2.12)$$

$$c = d_1 - \bar{K}l$$

Результати вимірювань записують у журнал (табл. 2.2):

Таблиця 2.2.

#### Журнал вимірювань ліній нитковим далекоміром (при $K=100$ )

| Номер ділянки (лінії) | Далекомірний відлік $l$ , см | Відлік за вертикальним кругом |        | Місце нуля $MO$ | Кут нахилу $\vartheta$ | Похила відстань $D$ , м | Горизонтальна відстань $d$ , м |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|--------|-----------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1-2                   | 58,2                         | КЛ                            | 3°54'  | 0°02'           | 3°52'                  | 58,2                    | 57,9                           |
|                       | 58,5                         | КП                            | -4°25' | 0°02'           | -4°27'                 | 58,5                    | 58,1                           |
|                       | Середнє                      |                               |        |                 |                        |                         | 58,0                           |

## 2.4. Висновки

У висновках вказуються виявлені похибки в процесі вимірювання відстаней, їх розмір, порівнюються з допустимими значеннями; порівнюються результати вимірювань при застосуванні мірних стрічок і далекомірів.

## 2.5. Запитання для самоперевірки

1. Як проводять лінійні вимірювання на місцевості?
2. Які прилади застосовуються для проведення лінійних вимірювань?
3. Як перевіряють точність лінійних вимірювань?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3**

### **ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТЕОДОЛІТА, ВИКОНАННЯ ПЕРЕВІРОК, ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ І ВЕРТИКАЛЬНИХ КУТІВ**

Мета роботи – вивчити будову теодоліта, відлікових пристроїв, освоїти техніку відліків, виконання перевірок і юстировки теодоліта, освоїти техніку вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів оптичними і електронними теодолітами.

#### **3.1. Завдання по роботі**

3.1.1. Ознайомитися з конструкцією оптичних і електронних теодолітів.  
Вивчити призначення основних складових частин.

3.1.2. Виконати встановлення теодоліта у робоче положення.

3.1.3. Виконати перевірки теодоліта.

3.1.4. Виміряти горизонтальний кут оптичним теодолітом 2Т30П, результати занести до таблиці 3.1, провести розрахунки.

3.1.5. Виміряти вертикальний кут оптичним теодолітом 2Т30П, результати занести до таблиці 3.2, провести розрахунки.

3.1.6. Виміряти горизонтальний кут електронним теодолітом SouthET-05.

3.1.7. Виміряти вертикальний кут електронним теодолітом SouthET-05.

#### **3.2. Устаткування, прилади і матеріали для виконання роботи**

Оптичний теодоліт 2Т30П, електронний теодоліт SouthET-05, штатив, протокол роботи.

#### **3.3. Загальні положення. Послідовність виконання роботи**

##### **3.3.1. Будова теодоліта**

Для виконання топографічних зйомок, інженерних пошуків під час розв'язування багатьох геодезичних задач треба виконувати кутові вимірювання. Горизонтальні і вертикальні кути вимірюються за допомогою

теодоліта. На рис. 3.1. показано схему будови теодоліта 2Т30П. Теодоліт 2Т30П – технічний. Основними складовими частинами теодоліта є: зорова труба 2 з візирами 3 і накладним рівнем 1; циліндричний рівень 7, що служить для встановлення приладу у робоче положення; затискний 4 і навідний 6 гвинти зорової труби; затискний 8 і навідний 9 гвинти алідади горизонтального круга; затискний 11 і навідний 10 гвинти лімба горизонтального круга; кремальєра 5, що служить для переміщення фокусуючої лінзи в зоровій трубі. Підставка теодоліта 14 оснащена підйомними гвинтами 13, за допомогою яких теодоліт центрують і приводять в робоче положення.

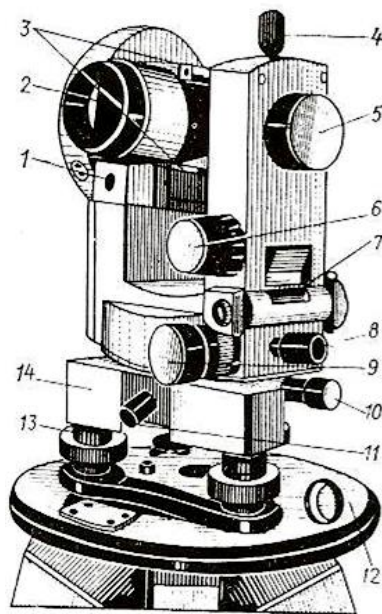


Рис. 3.1. Теодоліт 2Т30П: 1 – рівень; 2 – об’єктив; 3 – візир; 4, 8, 11 – затискні гвинти: труби, алідади і лімба горизонтального круга; 5 – кремальєра; 6, 9, 10 – гвинти наведення: труби, алідади і лімба горизонтального круга; 7 – циліндричний рівень; 12 – основа приладу; 13 – підйомні гвинти; 14 – підставка (трегер)

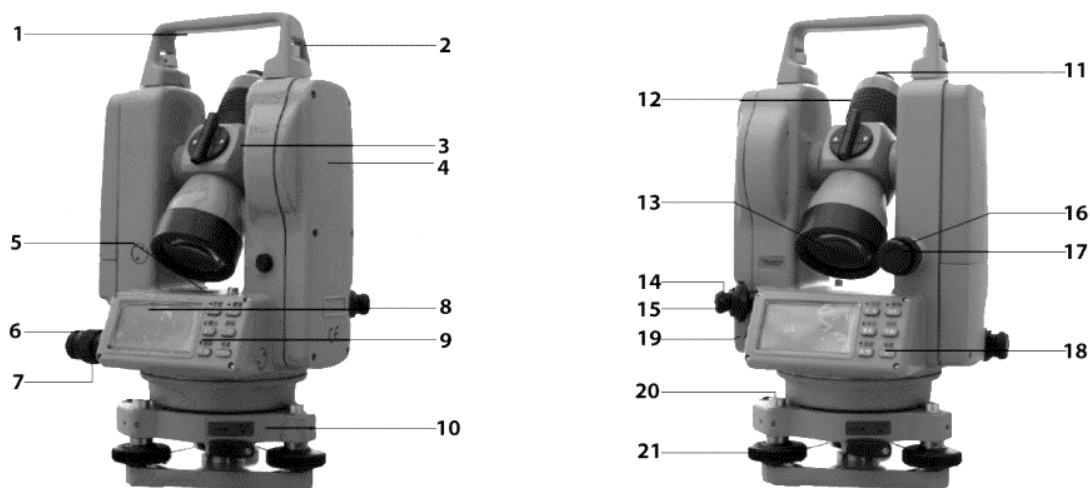
Теодоліт 2Т30П має такі характеристики: пряме зображення (літера П у маркуванні), збільшення зорової труби – 20, кут поля зору –  $2^\circ$ , точність вимірювання кутів –  $\pm 30''$ , коефіцієнт нитяного далекоміра – 100.

Крім основної функції кутомірних робіт, теодоліт 2Т30П виконує:

- визначення відстаней з застосуванням ниткового далекоміра;
- нівелювання за допомогою рівня, розташованого на зоровій трубі;
- визначення на місцевості магнітних азимутів при підключенні зовнішньої бусолі.

**Електронні теодоліти** – це геодезичні прилади, призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на місцевості, а також відстаней за допомогою далекомірних штрихів сітки. Основна перевага – простота і точність вимірювань. Теодоліт оснащений додатковим комунікаційним портом для підключення зовнішніх накопичувачів.

Електронний теодоліт SouthET-05 виробництва компанії SouthSurvey & MappingInstruments має два інтерфейсних порти для обміну даними із зовнішніми пристроями – світлодалекоміром і ПК. Прилад вологозахищений. Доступ до виправних гвинтів сітки ниток не ускладнений, налаштування і юстирування теодоліта можна виконувати самостійно. Теодоліти мають автоматичний компенсатор. Електронний теодоліт SouthET-05 має такі характеристики: пряме зображення, збільшення зорової труби – 30, роздільна здатність – 3", кут поля зору –  $1^{\circ}30''$ , мінімальна відстань візування – 1,4 м, точність вимірювання кутів – 5", коефіцієнт нитяного далекоміра – 100. Будова теодоліта SouthET-05 наведена на рис. 3.4.



*Рис. 3.4.* Електронний теодоліт SouthET-05: 1 – ручка; 2 – фіксує гвинт ручки; 3 – візор; 4 – марка горизонтальної осі; 5 – циліндричний рівень; 6 – гвинт точної наводки по горизонталі; 7 – затискний гвинт; 8 – ЖК дисплей; 9 – клавіатура; 10 – трегер; 11 – окуляр; 12 – фокусування зорової труби; 13 – об'єктив; 14 – фокусування оптичного відвісу; 15 – окуляр оптичного відвісу; 16 – затискний гвинт зорової труби; 17 – гвинт точної наводки по вертикалі; 18 – кнопка включення; 19 – роз'єм для контролера; 20 – круглий рівень; 21 – підйомні гвинти

### 3.3.2. Встановлення теодоліта у робоче положення.

Встановлення теодоліта **2Т30П** у робоче положення складається з двох операцій: центрування і нівелювання. При виконанні центрування теодоліт установлюють на підставку і становий гвинт легенько пригвинчують. Удавлюють спочатку одну ніжку штатива в ґрунт, потім дві інші так, щоб висок розмістився у 2-3 см від центра станції (вершини вимірюваного кута), а площина лімба була близько до горизонтальної. Удавленням ніжок або регулюванням їхньої довжини підганяють висок ближче до центра. Остаточне центрування здійснюється переміщенням трегера по голівці штатива при відпущеному становому гвинті. Точність центрування  $\pm 5$  мм.

В процесі нівелювання суміщають головну вісь теодоліта з прямовисною лінією. Для цього встановлюють циліндричний рівень по двох підйомних гвинтах на середину, повертають алідаду навколо вертикальної осі на  $90^\circ$  і третім гвинтом виводять рівень на середину. Потім повертають алідаду в початкове положення і перевіряють, чи не зійшов рівень з середини. Якщо зійшов, то операцію нівелювання повторюють.

Встановлення електронного теодоліта **SouthET-05** у робоче положення складається з трьох операцій: встановлення інструменту на штатив, центрування та горизонтування. Встановлення інструменту на штатив здійснюють в такий послідовності: висувають ніжки штативу на зручну для вимірювання висоту, закріплюють висок на крюк станового гвинта штативу і приблизно відцентровують його над центром станції. Слідкуючи за виском, остаточно фіксують штатив шляхом вдавлення ніжок в ґрунт та регулювання довжини кожної ніжки штативу таким чином, щоб голівка штативу опинилася в горизонтальному положенні. Встановлюють інструмент на голівку штативу і закріплюють становим гвинтом.

Центрування інструменту виконують за допомогою оптичного виска. Для цього виводять в нуль-пункт пухирець круглого рівня за допомогою підйомних гвинтів трегера. Спостерігаючи в окуляр оптичного виска,

обертають окуляр, поки зображення сітки ниток не стане чітким. Обертанням фокуруючого гвинта оптичного виска домагаються чіткого зображення центру станції на землі і суміщають його з центом сітки ниток шляхом пересування трегера інструмента по голівці штативу при відпущеному становому гвинті. За допомогою двох підйомних гвинтів трегера переміщують пухирець круглого рівня в нуль-пункт. Спостерігаючи в окуляр оптичного виска перевіряють точність суміщення центру станції з центром сітки ниток. Затискають становий гвинт.

Точне горизонтування приладу здійснюють за допомогою циліндричного рівня. Для цього циліндричний рівень встановлюють між двома підйомними гвинтами. Одночасно обертаючи підйомні гвинти у протилежних напрямках, виводять пухирець в нуль-пункт. Повертають алідаду на  $90^\circ$  навколо вертикальної осі і виводять пухирець рівня в центр, обертаючи третій підйомний гвинт. Повертають алідаду на  $90^\circ$  і перевіряють, чи не зійшов рівень з середини. Якщо пухирець циліндричного рівня залишається в нуль-пункті при обертанні приладу, горизонтування виконано правильно.

### **3.3.3. Виконання перевірок і юстировки теодоліта**

**I перевірка.** Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга має бути перпендикулярною до основної осі інструмента.

Для виконання цієї перевірки треба виконати такі операції: встановити теодоліт у робоче положення; встановити рівень по двох підйомних гвинтах і вивести ними рівень на середину; повернути алідаду при закріпленому лімбі на  $180^\circ$ , пухирець рівня має зупинитися в центрі ампули. Якщо він відійде від середини більш як на одну поділку, то одну половину відхилення виправити підйомними гвинтами, а другу – виправити гвинтами рівня. Результати занести в протокол. Перевірку повторити до виконання умови – відхилення не має перевищувати однієї поділки.

**II перевірка.** Візирна вісь труби має бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби.

Похибка, що виникла через невиконання цієї умови, називається колімаційною. Для виконання цієї перевірки треба виконати такі операції: навести перехрестя ниток при КП на віддалену точку  $M$ , розташовану по можливості на рівні інструмента, взяти відлік; повернути трубу через зеніт і при КЛ візувати на ту саму точку. При відсутності колімаційної похибки має виконуватися рівність  $L-R\pm 180^\circ=0$ . При невиконанні цієї умови виникає колімаційна похибка. У цьому разі обчислюють правильний відлік  $N=(L+R\pm 180^\circ)/2$  і встановлюють його на лімбі поворотом алідади. При цьому центр ниток зійде з точки  $M$ . Виправними гвинтами сітки суміщають центр ниток з точкою  $M$ . Перевірка повторюється до виконання заданої умови. Результати записують у табл.3.1.

*Таблиця 3.1.*

| Точка спостереження | КП (R) | КЛ (L)  | $L-R\pm 180^\circ$ | N      | Примітка        |
|---------------------|--------|---------|--------------------|--------|-----------------|
| М                   | 86°22' | 266°26' | 0°04'              | 86°24' | при перевірці   |
| М                   | 86°22' | 266°22' | 0°00'              | 86°22' | після юстировки |

**III перевірка.** Горизонтальна вісь обертання труби має бути перпендикулярною до вертикальної осі інструмента.

Для виконання цієї перевірки треба виконати такі операції: встановити інструмент на 30...40 м від високого предмета (наприклад будинку) і навести центр ниток на високо розміщену точку  $A$ ; при закріпленій алідаді при КП опустити трубу до горизонтального положення й відмітити на стіні проекцію точки  $A - a_1$ ; повернути трубу через зеніт (КЛ), спроеціювати точку  $A$  в точку  $a_2$ . При збіганні проекцій умову виконано, при незбіганні точок  $a_1$  і  $a_2$  (рис. 3.5) обчислюють відносну похибку вимірювання:



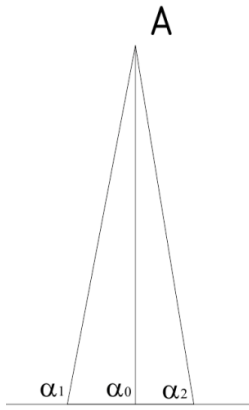


Рис. 3.5. Третя перевірка теодоліта

$$\frac{a_1 a_2}{A a_0} \leq \frac{1}{1000}.$$

Наприклад,  $A a_0 = 25000$  мм,  $a_1 a_2 = 10$  мм.

Тоді

$$\frac{a_1 a_2}{A a_0} = \frac{10}{25000} \leq \frac{1}{1000}.$$

Умову виконано.

**IV перевірка.** Одна з ниток сітки має бути горизонтальною, друга – вертикальною.

Для виконання цієї перевірки наводять центр ниток на будь-яку точку і повільно повертають алідаду навколо вертикальної осі. Якщо зображення не буде сходити з горизонтальної нитки, то умову виконано. Якщо зображення зійшло з нитки, тоді сітку ниток повертають на потрібний кут з допомогою гвинтів, що кріплять окуляр до труби.

### 3.3.4. Вимірювання горизонтальних кутів оптичним теодолітом 2Т30П способом прийомів

Роботу з вимірювання горизонтального кута проводять у такому порядку.

У точці  $B$  (рис. 3.6.) встановлюють теодоліт, проводять його центрування та нівелювання. У точках  $A$  і  $C$  встановлюють візирні знаки (кілочки) майже на рівні з поверхнею землі, а за ними у створі ліній  $BA$  і  $BC$  – віхи.

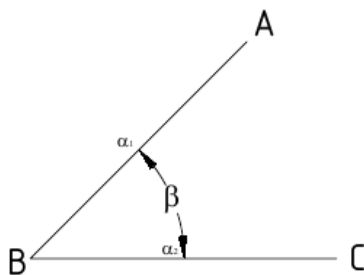


Рис. 3.6. Схеми вимірювання горизонтального кута

Закріплюють лімб і, відпустивши алідаду у положенні “круг ліво” КЛ, наприклад, наводять трубу на точку  $A$  спочатку грубо, а потім, закріпивши затискний гвинт алідади, точно за допомогою мікрометричного гвинта алідади. Відлік за мікроскопом записують у табл. 3.2 (наприклад,  $45^\circ 46'$ ).

Відпустивши гвинт алідади, наводять трубу на точку  $C$ , повторюючи ті самі операції, і беруть відлік за горизонтальним кругом ( $125^{\circ}39'$ ). Виміряний у першому півприйомі (при КЛ) кут дорівнює:

$$\beta_1 = \alpha_2 - \alpha_1 = 125^{\circ}39' - 45^{\circ}46' = 79^{\circ}53'. \quad (3.1)$$

Для контролю і підвищення точності вимірювання виконують другий півприйом при положенні “круг право” (КП). Для цього збивають лімб на кілька поділок, переводять трубу через зеніт, відпускають алідаду і наводять на точку  $A$ , повторюючи операції попереднього півприйому. Результати записують у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

### Журнал вимірювання горизонтальних кутів

| Точка<br>стояння | Точка<br>візу-<br>вання | КП,<br>КЛ | Відлік за<br>мікроскопом |        | Кути<br>β <sub>1</sub> , β <sub>2</sub> |        | $\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$ |        |  |  |
|------------------|-------------------------|-----------|--------------------------|--------|---|--------|---------------------------------------|--------|--|--|
|                  |                         |           | градус                   | мінута | градус                                  | мінута | градус                                | мінута |  |  |
| В                | А                       | КЛ        | 45                       | 46     | 79                                      | 53     | 79                                    | 52,5   |  |  |
|                  | С                       |           | 125                      | 39     |   |        |                                       |        |  |  |
| В                | А                       | КП        | 311                      | 26     | 79                                      | 52     |                                       |        |  |  |
|                  | С                       |           | 31                       | 18     |   |        |                                       |        |  |  |

Якщо в процесі вимірювання кута при переході від точки  $A$  до точки  $C$  відлікове пристосування переходить через  $360^{\circ}$  (другий відлік менший за перший), під час розрахунку кута до першого відліку необхідно додати  $360^{\circ}$ . Таким чином, виміряний у другому півприйомі (при КП) кут визначається:

$$\beta_2 = \alpha_2' - \alpha_1' = 31^{\circ} 18' + 360^{\circ} - 311^{\circ} 26' = 79^{\circ} 52'.$$

Вимірювання кута вважається правильним, якщо виконується нерівність:

$$(\beta_1 - \beta_2) \leq 2t, \quad (3.2)$$

де  $t$  – точність відлікового пристрою (для теодолітів Т-30 –  $t = 1'$ ).

Вимірний кут визначається як середнє арифметичне з двох вимірювань у півприйомах:

$$\beta = (\beta_1 + \beta_2) / 2 = (79^\circ 53' + 79^\circ 53') / 2 = 79^\circ 52,5'. \quad (3.3)$$

При невиконанні нерівності вимірювання кута в півприйомах повторюються.

### 3.3.5. Вимірювання вертикальних кутів теодолітом 2Т30П

Послідовність вимірювання така. При положенні “круг ліво” наводять перетин ниток орієнтовно на точку і затискають закріпні гвинти. Потім навідними гвинтами аліади і труби проводять точну наводку і беруть відлік за вертикальним кругом, наприклад  $L = 4^\circ 30'$ , дані записують у табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

**Журнал вимірювання вертикальних кутів**

| Точка   |             | КЛ,<br>КП | Відліки за<br>вертикальним<br>кругом | Місце<br>нуля<br>/МО/ | Кут<br>нахилу |
|---------|-------------|-----------|--------------------------------------|-----------------------|---------------|
| стояння | візирування |           |                                      |                       |               |
| А       | В           | $L$       | $4^\circ 30'$                        | $0^\circ 02'$         | $4^\circ 28'$ |
|         |             | $\Pi$     | $-4^\circ 26'$                       |                       |               |

Потім переводять трубу через zenit і повторюють вимірювання при положенні “круг право”:  $\Pi = -4^\circ 26'$ . Після цього обчислюють місце нуля (МО) вертикального круга і вертикальний кут:

$$MO = \frac{L + \Pi}{2} = \frac{4^\circ 30' + (-4^\circ 26')}{2} = 0^\circ 02' \quad (3.4)$$

$$v = L - MO = 4^\circ 30' - 0^\circ 02' = 4^\circ 28'. \quad (3.5)$$

Якщо місце нуля вже визначено, то вимірювання вертикальних кутів можна виконувати при одному положенні вертикального круга.

### 3.3.6. Вимірювання горизонтального кута електронним теодолітом SouthET-05

В точці  $B$  встановлюють теодоліт, приводять його у робоче положення. У точках  $A$  і  $C$  встановлюють візирні знаки (кілочки) майже на рівні з поверхнею землі, а за ними у створі ліній  $BA$  і  $BC$  – віхи.

Включення приладу здійснюють шляхом натискання клавіші [POWER] і утримання її до тих пір, поки всі символи не з'являться на дисплеї. Через 2 секунди на дисплеї відобразиться горизонтальний кут, можна починати вимірювання. Для виключення живлення необхідно натиснути і утримувати клавішу [POWER] більше 2 секунд.

Фокусування приладу здійснюють шляхом наведення зорової труби на світлу поверхню (наприклад, лист паперу). Дивлячись в окуляр, обертають окулярне кільце до тих пір, поки сітка ниток не буде чітко видна.

Встановлюють прилад в положення «круг ліво» КЛ. Наведення труби на ціль здійснюють за допомогою візира. Дивлячись в окуляр, остаточно фокусують зображення цілі. Закріплюють затискний гвинт. Гвинтами точної наводки суміщають зображення цілі з перехрестям візирних ниток.

Встановлюють правий горизонтальний кут в нуль. Для цього, після точного наведення приладу на точку візування  $A$ , натискають клавішу [0 SET] двічі, після чого горизонтальний кут буде встановлено на  $00^{\circ}00'00''$ . Наприклад, після наведення на точку  $A$  на екрані відображається:  $HR\ 20^{\circ}35'40'' \rightarrow$  натискають [0 SET] двічі, на екрані з'явиться  $\rightarrow HR\ 00^{\circ}00'00''$ . Повертають прилад за годинниковою стрілкою і наводять трубу на точку  $C$ . Отримують, наприклад,  $HR\ 50^{\circ}10'20''$ . Таким чином, правий горизонтальний кут між напрямками на  $A$  і  $C$  (кут  $ABC$ ) становить  $50^{\circ}10'20''$ .

Для того, щоб змінити режим вимірювання правого горизонтального кута на режим вимірювання лівого горизонтального кута, треба натиснути клавішу [R/L]. Для цього, повертають прилад проти годинникової стрілки (HL), точно наводять трубу на точку  $A$ , натискають двічі клавішу [0 SET],

щоб обнулити горизонтальний кут. Повертають прилад проти годинникової стрілки і наводять на точку *C*. На дисплеї відобразиться наступне: HL 309°49'40" (лівий горизонтальний кут між напрямками на *A* і *C* – кут *CBA*).

Для контролю вимірювань, встановлюють прилад в положення «круг право» КП і повторюють дії, наведенні вище, з подальшим усередненням результатів. Це дозволяє виключити систематичні помилки приладу.

Якщо в процесі кутових вимірювань необхідно зафіксувати поточне значення горизонтального кута, необхідно двічі натиснути клавішу [HOLD]. На екрані з'явиться значок «HRL», це означає, що при обертанні теодоліта значення горизонтального кута змінюватися не буде. Для того, щоб відмінити фіксацію, треба натиснути [HOLD] ще раз.

### 3.3.7. Вимірювання вертикального кута електронним теодолітом SouthET-05

Вимірювання вертикального кута можна проводити в положенні «0 в зеніті» і «0 в горизонті» (рис. 3.7.)

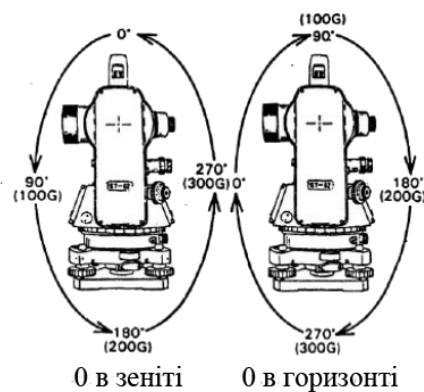


Рис. 3.7. Встановлення приладу в положення «0 в зеніті», «0 в горизонті»

Встановлення приладу в положення «0 в горизонті» здійснюється шляхом натискання під час включення на кнопку [L/R] і утримання її натиснутої до тих пір, поки не прозвучать три звукових сигнали. Виставити на місці третьої цифри коду, що з'явився на екрані, «1» шляхом натискання клавіш [←], [→], [↑], [↓].

Після завершення настройки необхідно натиснути на клавішу [FUNC] для збереження змін.

Для визначення вертикального кута в положенні «0 в горизонті» необхідно зорову трубу навести на точку, закріпити затискний гвинт зорової

труби, гвинтами точної наводки сумістити зображення цілі з перехрестям сітки ниток, зафіксувати значення вертикального кута. Для точності вимірювань повторюють вимірювання при іншому положенні круга.

### **3.4. Висновки**

У висновку вказується, що в результаті проведених перевірок теодоліта виявлено такі недоліки: 1)...,2)... Порівнюються результати вимірювань горизонтальних і вертикальних кутів оптичним і електронним теодолітом.

### **3.5. Запитання для самоперевірки**

1. Які ви знаєте теодоліти, їх класифікацію за конструкцією, принципом дії, точністю вимірювання?
2. Як виконується встановлення теодоліта в робоче положення?
3. З яких основних частин складається теодоліт?
4. Назвати порядок виконання і перевірок.
5. Які існують способи вимірювання горизонтальних кутів ?
6. Як вимірюють вертикальний кут? Що таке “місце нуля вертикального круга ” і як його обчислюють?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4**

### **ПРОКЛАДАННЯ ТЕОДОЛІТНОГО ХОДУ ТА ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ЙОГО ВЕРШИН**

Мета роботи – набути навичок обробки результатів вимірювань при прокладанні теодолітного ходу.

#### **4.1. Завдання по роботі**

4.1.1. Прокласти теодолітний хід, заміряти горизонтальні й вертикальні кути і відстані між його вершинами. Виміряти магнітний азимут однієї з сторін.

4.1.2. Обчислити координати вершин теодолітного ходу і перевірити точність вимірювання.

4.1.3. Накреслити полігон в масштабі.

За вихідні дані взяти виміряні і наведені в табл. 4.1 кути вершин полігону (у точках 1-5) і довжини сторін полігону, приведені до горизонту (горизонтальні відстані). Дирекційний кут початкової сторони 1-2 беруть поваріантно з виразу:

$$\alpha_{1-2} = 18^\circ 15' + 31^\circ 11' \cdot N, \text{ де } N - \text{номер варіанту.}$$

Наприклад, для варіанту 23:

$$\alpha_{1-2} = 18^\circ 15' + 31^\circ 11' \cdot 23 = 18^\circ 15' + 717^\circ 13' = 735^\circ 28' = 15^\circ 28'.$$

## **4.2. Устаткування та прилади для виконання роботи**

Теодоліт; штатив, вимірювальна стрічка, бусоль, інженерний калькулятор, креслярські інструменти, протокол роботи.

## **4.3. Загальні положення. Послідовність виконання роботи**

### **4.3.1. Прокладання теодолітного ходу**

Для виконання теодолітної або тахеометричної зйомки місцевості створюють геодезичне **зйомочне обґрунтування** – систему закріплених на місцевості точок, пов'язаних між собою в єдину геодезичну мережу з визначеними координатами, що призначається для подальшої детальної зйомки заданої території (зйомки подробиць). Зйомочне обґрунтування розвивається на основі пунктів державної геодезичної мережі і сіток згущення. В окремих випадках може розвиватися самостійно.

Ходи планових зйомочних мереж, які розвиваються методом полігонометрії, називають теодолітними ходами.

Порядок виконання робіт при прокладанні теодолітних ходів:

– вивчення картографічного матеріалу, каталогів планової і висотної мереж, складання попереднього проекту робіт;

– рекогносцировка місцевості, яка полягає у знаходженні на місцевості пунктів геодезичних мереж, визначенні можливості прив'язки до них теодолітного ходу та закріпленні його вершин;

– складання абрису (схеми) з нанесенням на нього вершин теодолітного ходу, об'єктів майбутньої зйомки, нумерації характерних точок;

– вимірювання горизонтальних кутів у вершинах теодолітного ходу повним прийомом за методикою, викладеною в п. 3.3.4., 3.3.6. (див. л.р. № 3); записи в журнал;

– вимірювання вертикальних кутів у вершинах теодолітного ходу (див. л.р. № 3 п. 3.3.5., 3.3.7); записи в журнал;

– вимірювання довжин сторін ходу землемірною стрічкою або дальноміром відповідної точності в прямому і зворотному порядку (див. л.р. № 2 п. 2.3.1., 2.3.2); записи в журнал;

– попередня перевірка результатів вимірювань, перевірка кутової і лінійної нев'язок, порівняння з нормативними значеннями.

#### **4.3.2. Обчислювальна обробка теодолітного ходу**

Мета обробки результатів польових вимірювань при прокладанні теодолітного ходу – одержання координат його вершин. Вихідними даними є виміряні у вершинах ходів горизонтальні кути, горизонтальні прокладання сторін цих ходів і дані прив'язки до пунктів державної чи місцевої мережі (дирекційний кут однієї з сторін).

Результати зйомки закритого (замкнутого) теодолітного ходу опрацьовують у такій послідовності.

1. Перевіряють журнали польових зйомок; виміряні кути і горизонтальні прокладання заносять до табл. 4.1.

2. Визначають кутову нев'язку замкнутого теодолітного ходу як різницю суми виміряних кутів і теоретичної суми кутів:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{в}} - \sum \beta_{\text{т}} \quad (4.1)$$



$$\beta_T = 180^\circ(n - 2) \quad (4.2)$$

де  $n$  – число кутів у полігоні.

Здобута нев'язка не повинна перевищувати допустимої нев'язки:

$$f_\beta \leq f_{\beta_{\text{доп}}} = 1,5t\sqrt{n} \quad (4.3)$$

де  $t$  – точність вимірювання кутів.

Якщо умова (4.3) виконується, треба зв'язати кути теодолітного ходу й привести їх до теоретичної суми. Для цього до кожного кута треба додати поправку  $f_\beta/n$  зі зворотним знаком з точністю  $0,5'$ .

Для кожної сторони теодолітного ходу розраховують дирекційні і табличні кути. На рис. 4.1. наведено схему полігону, на якій показано зв'язок між кутами повороту теодолітного ходу, виміряними справа ( $\beta_{\text{пр}}$ ) за ходом полігону, та дирекційними кутами.

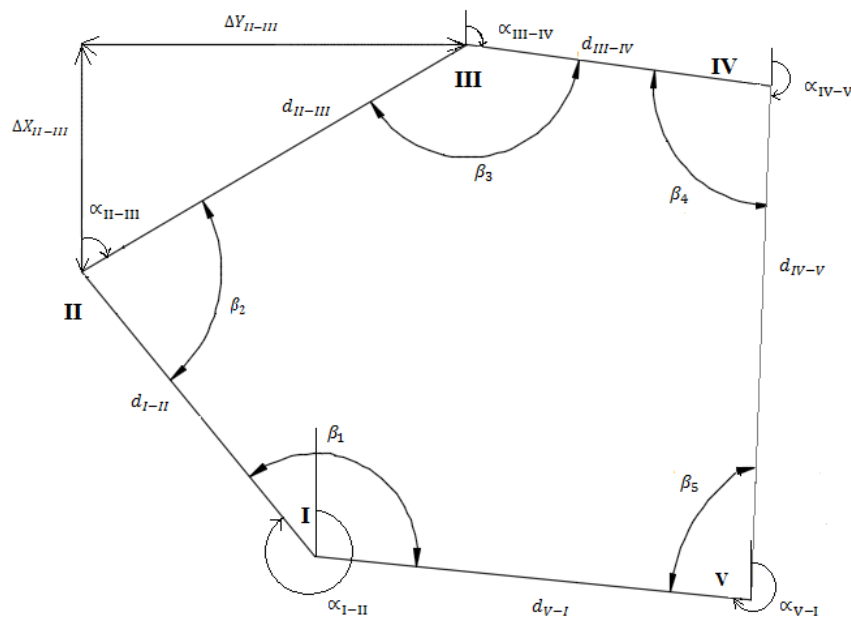


Рис. 4.1. Схема полігону

Таблиця 4.1.

## Журнал теодолітної зйомки

| Номер точки | Вимірний кут, поправки   | Виправлений кут | Дирекційний кут | Табличний кут | Горизонтальна відстань, м | Прирошення координат, м |                  |            |            | Координати, м  |                |
|-------------|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|------------------|------------|------------|----------------|----------------|
|             |                          |                 |                 |               |                           | обчислене               |                  | виправлене |            | X              | Y              |
|             |                          |                 |                 |               |                           | $\Delta x$              | $\Delta y$       | $\Delta x$ | $\Delta y$ |                |                |
| <u>1.</u>   | <u>135°23'</u>           | <u>135° 23'</u> |                 |               |                           |                         |                  |            |            | <u>1162,13</u> | <u>8728,07</u> |
|             |                          |                 | 333°25'         | 26°35'        | 187,35                    | +0,05<br>+167,54        | -0,01<br>-83,74  | +167,59    | -83,75     |                |                |
| <u>2.</u>   | +0,5<br><u>81°13,5'</u>  | <u>81°14'</u>   |                 |               |                           |                         |                  |            |            | <u>1329,72</u> | <u>8644,32</u> |
|             |                          |                 | 72°11'          | 72°11'        | 225,84                    | +0,06<br>+69,11         | -0,02<br>+215,00 | +69,17     | +214,98    |                |                |
| <u>3.</u>   | +0,5<br><u>142°33,5'</u> | <u>142°34'</u>  |                 |               |                           |                         |                  |            |            | <u>1398,89</u> | <u>8859,30</u> |
|             |                          |                 | 109°37'         | 70°23'        | 156,65                    | +0,04<br>-52,60         | -0,01<br>+147,55 | -52,56     | +147,54    |                |                |
| <u>4.</u>   | +0,5<br><u>103°51,5'</u> | <u>103°52'</u>  |                 |               |                           |                         |                  |            |            | <u>1346,33</u> | <u>9006,84</u> |
|             |                          |                 | 185°45'         | 5°45'         | 271,37                    | +0,08<br>-270,00        | -0,02<br>-27,19  | -269,92    | -27,21     |                |                |
| <u>5.</u>   | <u>76°57'</u>            | <u>76°57'</u>   |                 |               |                           |                         |                  |            |            | <u>1076,41</u> | <u>8979,63</u> |
|             |                          |                 | 288°48'         | 71°12'        | 265,73                    | +0,08<br>+85,64         | -0,01<br>-251,55 | +85,72     | -251,56    |                |                |
| <u>1.</u>   |                          |                 |                 |               |                           |                         |                  |            |            | <u>1162,13</u> | <u>8728,07</u> |

3. Визначають дирекційні кути сторін теодолітного ходу. Якщо заданий дирекційний кут початкової сторони  $\alpha_{1-2}$ , то дирекційний кут іншої сторони можна визначити з виразу

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{2-1} - \beta_{\text{пр}} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}2} \quad (4.4)$$

При вимірюваному лівому куті дирекційний кут

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{2-1} + \beta_{\text{лів}} = \alpha_{1-2} + 180^\circ + \beta_{\text{лів}2} \quad (4.5)$$

Якщо з розрахунків за цими формулами значення дирекційного кута більше за  $360^\circ$ , від нього треба відняти  $360^\circ$ , а якщо від'ємне – додати  $360^\circ$ .

Вказаним способом можна обчислити дирекційні кути всіх сторін. Для контролю після обчислення  $\alpha_{n-1}$  останньої сторони визначають дирекційний кут початкової сторони. Збігання здобутого значення з вихідним свідчить про правильність розрахунків усіх дирекційних кутів.

Табличні кути (румби) визначають відповідно до вказівок, вказаних в п.1.3.5 (див. л.р. № 1).

4. Обчислюють приращення координат усіх точок теодолітного ходу. Приращення координат точок визначають за формулами:

$$\Delta x_{1-2} = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2}^T; \quad (4.6)$$

$$\Delta y_{1-2} = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2}^T; \quad (4.7)$$

де  $d_{1-2}$  – горизонтальна відстань лінії 1-2, м.

При цьому необхідно враховувати знак приращення.

5. Перевіряють точність польових вимірювань. Для замкнутого полігону теоретичні суми приращень координат  $\Delta x$  і  $\Delta y$  дорівнюють 0, тобто значення теоретичних похибок вимірювань мають становити

$$f_x^T = \sum_{i=1}^n \Delta x_T = 0, \quad f_y^T = \sum_{i=1}^n \Delta y_T = 0 \quad (4.8)$$

Через неточність вимірювань кутів і відстаней фактичні нев'язки відрізняються від теоретичних і складають:

$$f_x = \sum \Delta x_i, \quad f_y = \sum \Delta y_i. \quad (4.9)$$

Абсолютну лінійну нев'язку визначають з формули:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (4.10)$$

Відносна лінійна нев'язка (відношення абсолютної лінійної нев'язки до периметру  $P$ ) не повинна перевищувати допустимого значення:

$$\frac{f}{P} \leq \frac{1}{2000} \quad (4.11)$$

Для несприятливих умов вимірювань приймають:

$$\frac{f}{P} \leq \frac{1}{1000} \quad (4.12)$$

Якщо умови (4.11) і (4.12) виконуються, то переходимо до ув'язки прирощень координат окремо по абсцисах і ординатах. Поправку для кожної зі сторін визначають пропорційно її довжині  $d_i$  відносно периметра  $P$ :

$$U_{\Delta x i} = \frac{f_x}{P} d_i \quad (4.13)$$

$$U_{\Delta y i} = \frac{f_y}{P} d_i$$

Після цього виконують ув'язку прирощень координат шляхом введення відповідних поправок з протилежним знаком до раніше обчислених значень прирощень:

$$\Delta x'_1 = \Delta x_1 + (-U_{\Delta x 1}) \quad (4.14)$$

$$\Delta y'_1 = \Delta y_1 + (-U_{\Delta y 1})$$

6. Визначають координати вершин теодолітного ходу:

$$X_2 = X_1 + \Delta x'_1 \quad (4.15)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta y'_1$$

Для контролю після визначення координат останньої точки обчислюють координати початкової першої точки.

### 4.3.3. Побудова полігону в масштабі

На аркуші паперу будують сітку зі стороною квадрату 10 см. Обирають масштаб. За допомогою циркуля і масштабної лінійки на план наносять за координатами пункти теодолітних ходів. Правильність побудови контролюється вимірюванням відстаней і кутів між кожною парою пунктів. Потім на план наносять ситуацію, користуючись поперечним масштабом і транспортиром. Показують дирекційні кути, внутрішні кути, табличні кути, приращення координат.

### 4.4. Приклад обробки результатів вимірювань теодолітного ходу

Для виміряних і наведених у табл. 4.1 кутів і довжин сторін теодолітного ходу обчислити координати усіх пунктів цього ходу, якщо відомі координати точки 1:  $X_I=6271162,13$  м;  $Y_I=4428728,07$  м.

Порядок виконання роботи такий.

Обчислюємо суму виміряних і теоретичних кутів, фактичну й допустиму кутові нев'язки за (4.1), (4.2), (4.3):

$$\sum_1^5 \beta_B = 135^\circ 23' + 81^\circ 13,5' + \dots + 76^\circ 57' = 539^\circ 58,5'$$

$$\beta_T = 180^\circ (5 - 2) = 540^\circ$$

$$f_\beta = 539^\circ 58,5' - 540^\circ 00' = -0^\circ 01,5'$$

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1,5 \cdot 1 \cdot \sqrt{5} = 0^\circ 03,3'$$

Зважаючи на те, що умова (4.3) виконується, кутову нев'язку розкидаємо на три кути по  $+0,5'$  і записуємо виправлені кути (див. табл. 4.1).

Для наочності і контролю правильності обчислення дирекційних кутів на міліметровці в масштабі необхідно побудувати полігон, використовуючи задані кути і довжини сторін починаючи з першої заданої точки.

Для прямих вимірювань за ходом руху внутрішніх кутів за (4.4) визначаємо дирекційні кути інших сторін:

$$\alpha_{2-3} = 333^{\circ}25' + 180^{\circ} - 81^{\circ}14' = 432^{\circ}11' = 72^{\circ}11'$$

$$\alpha_{3-4} = 72^{\circ}11' + 180^{\circ} - 142^{\circ}34' = 109^{\circ}37'$$

Для решти сторін розрахунки проводимо аналогічно. Результати записуємо в табл. 4.1.

Робимо перевірку правильності розрахунків дирекційних кутів:

$$\alpha_{1-2} = 288^{\circ}48' + 180^{\circ} - 135^{\circ}23' = 333^{\circ}25'$$

За формулами (4.6) і (4.7) обчислюємо приращення координат між точками 1 і 2:

$$\Delta x_{1-2} = 187,35 \cos 333^{\circ}25' = 187,35 \cos 26^{\circ}35' = 167,54 \text{ м}$$

$$\Delta y_{1-2} = -187,35 \sin 26^{\circ}35' = -83,74 \text{ м}$$

Для решти сторін чисельні значення приращень координат визначимо аналогічно і результати занесемо до табл. 4.1.

За формулами (4.9) визначаємо:

$$f_x = \sum \Delta x_i = -0,31; f_y = \sum \Delta y_i = +0,07.$$

Абсолютну лінійну нев'язку визначаємо за формулою (4.10):

$$f = \sqrt{0,31^2 + 0,07^2} = 0,32 .$$

Визначаємо відносну нев'язку (4.11) і порівнюємо її з допустимою:

$$\frac{f}{P} = \frac{0,32}{1106,94} = \frac{1}{3460} < \frac{1}{2000}$$

Нерівність виконується. Розкидаємо нев'язки пропорційно довжинам сторін за формулами (4.13):

$$U_{\Delta x_{1-2}} = \frac{-0,31}{1106,94} \cdot 187,35 = -0,05 \text{ і т.д.}$$

$$U_{\Delta y_{1-2}} = \frac{0,07}{1106,94} \cdot 187,35 = +0,01 \text{ і т.д.}$$

Розраховуємо виправлені приращення за формулою (4.14):

$$\Delta x_1' = 167,54 + 0,05 = 167,59$$

$$\Delta y_1' = -83,74 - 0,01 = -83,75$$

Сума виправлених прирощень дорівнює нулеві.

Розраховуємо координати точок за формулою (4.15). Під час розрахунку координат перші три цифри виключаємо:

$$X_2 = 1162,13 + 167,59 = 1329,72 \text{ м};$$

$$Y_2 = 8728,07 - 83,75 = 8644,32 \text{ м}.$$

Решту координат обчислюємо аналогічно і результати заносимо до табл. 4.1. Виконуємо перевірку.

#### **4.5. Висновки**

У висновках оцінюється точність результатів вимірювання й обчислення.

#### **4.6. Запитання для самоперевірки**

1. Що таке зйомочне обґрунтування?
2. У якій послідовності проводять роботи з прокладання теодолітних ходів?
3. Як здійснюється контроль польових робіт?
4. Як обчислюють дирекційні кути кожної із сторін теодолітного ходу, координаті його вершин, коригують підрахунки?
5. Як перевіряють точність розрахункових робіт?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5**

### **ВИВЧЕННЯ БУДОВИ НІВЕЛІРІВ, ЗАСВОЄННЯ ТЕХНІКИ НІВЕЛЮВАННЯ, ПРОВЕДЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ**

Мета роботи – вивчити будову оптичних і електронних нівелірів, освоїти техніку нівелювання, виконати перевірки нівеліра, ознайомитися з методикою проведення поздовжнього геометричного нівелювання, набути навичок камеральної обробки результатів нівелювання.

#### **5.1. Завдання по роботі**

5.1.1. Ознайомитися з конструкцією оптичних і електронних нівелірів. Вивчити призначення основних складових частин, освоїти техніку встановлення і наведення нівеліра, читання відліків за рейкою.

5.1.2. Виконати встановлення нівеліра у робоче положення.

5.1.3. Виконати перевірки нівеліра, знайти величину похибки.

5.1.4. Провести нівелювання ділянки траси способом «нівелювання з середини». Визначити абсолютні відмітки пікетів і проміжних точок. Зробити посторінковий контроль.

#### **5.3. Устаткування й прилади для виконання роботи**

Нівелір, штатив, нівелірна рейка, протокол роботи.

#### **5.4. Загальні положення. Послідовність виконання роботи**

##### **5.4.1. Будова нівелірів і нівелірних рейок**

Для визначення висоти точок місцевості відносно прийнятої відлікової поверхні, а також для встановлення різниці висот між окремими точками використовується нівелювання. Існує кілька методів нівелювання, найчастіше



застосовується в інженерній практиці більш точне геометричне нівелювання, яке проводиться горизонтальним візирним променем, одержаним за допомогою нівеліра.

Головними складовими частинами оптичного нівеліра SouthNL-20 є зорова труба 2, круглий рівень 9 і підставка 5 з підйомними гвинтами 4 (рис. 5.1). Для попередньої установки вертикальної осі нівеліра в прямовисне положення використовується круглий рівень 9. Точне встановлення візирної осі труби в горизонтальне положення здійснюється за допомогою автоматичного компенсатора кута нахилу. Різкість зображення сітки ниток одержують поворотом діоптрійного кільця окуляра 7, а різкість зображення рейки – поворотом маховичка 1 фокуруючого пристрою.



*Рис.5.1.* Оптичний нівелір SouthNL-20: 1 – фокуруючий гвинт, 2 – зорова труба, 3 – горизонтальний лімб, 4 – підйомні гвинти, 5 – підставка, 6 – візир, 7- окуляр, 8 – протипилове кільце, 9 – круглий рівень, 10 – юстировочні гвинти, 11 – горизонтальний навідний гвинт, 12 – юстировочні шпильки, 13 – нівелір, 14 – кейс для переноски.

**Електронні нівеліри** – це сучасні багатофункціональні геодезичні прилади, що суміщають функції високоточного оптичного нівеліра, електронного запам'ятовуючого пристрою і вбудованого програмного

забезпечення для обробки отриманих вимірювань. Електронні нівеліри випускаються фірмами Sokkia, Topcon, Trimble, Leica (рис. 5.2).



Рис.5.2. Зовнішній вигляд електронних нівелірів

Вони характеризуються високою точністю визначення перевищень (0,3...2 мм на 1 км подвійного ходу). Час вимірювання такими нівелірами складає менше 3 секунд, діапазон дальності вимірювань – 1,6...100 м.

Будова електронного нівеліра Sokkia SDL1X наведена на рис. 5.3.

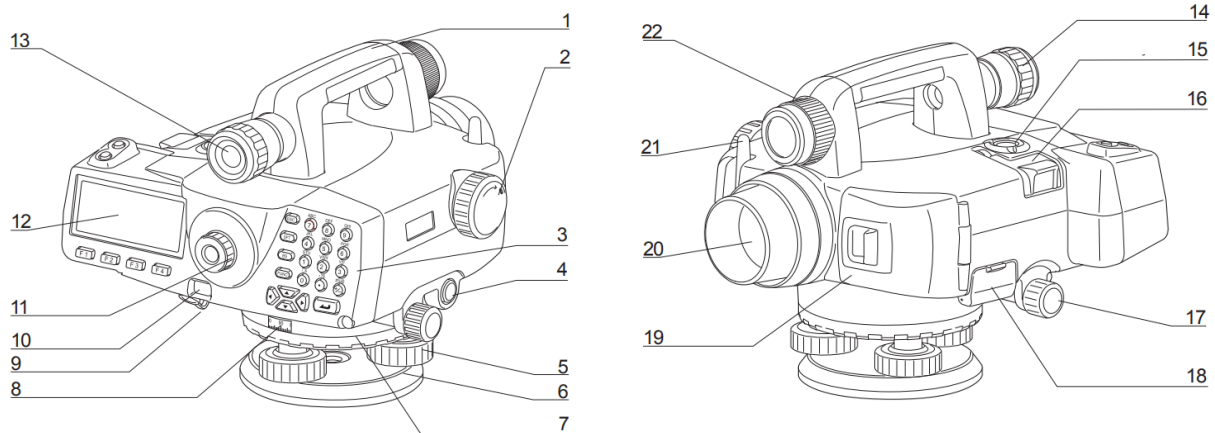


Рис. 5.3. Електронний нівелір Sokkia SDL1X: 1 – ручка, 2 – кремальєра, 3 – клавіатура, 4 – клавіша вимірювань, 5 – підйомні гвинти, 6 – підставка, 7 – кільце перестановки лімба горизонтального круга, 8 – лімб горизонтального круга, 9 – разйом для підключення кабелю, 10 – ІК порт для пульта ДК, 11 – окуляр, 12 – екран, 13 – візир, 14 – кільце фокусування зображення візиру, 15 – круглий рівень, 16 – дзеркало рівня, 17 – горизонтальні навідні гвинти, 18 – відсік для підключення зовнішніх пристроїв пам'яті, 19 – кришка батарейного відсіку, 20 – об'єктив, 21 – Bluetooth антена, 22 – кільце фокусування сітки візира.



Рис. 5.4. Нівелірна рейка AGR4

В комплексі з нівеліром для нівелювання місцевості застосовуються нівелірні рейки. Широке застосування отримали 3-, 4-, 5-метрові телескопічні алюмінієві рейки. Нівелірні рейки двосторонні. Одна сторона рейки має шашкові поділки червоного і чорного кольору, нанесені з інтервалом 10 мм.

Міліметрова шкала з ціною поділки 1 мм на зворотному боці дає можливість більш точного вимірювання перевищень. Рейки комплектуються рівнями і чохлами.

#### 5.4.2. Встановлення нівеліра у робоче положення

Встановлення і горизонтування нівеліра здійснюють наступним чином. Штатив встановлюють таким чином, щоб голівка штативу була приблизно горизонтальною. Прилад встановлюють на штатив і міцно закріплюють становим гвинтом. Приводять пухирець круглого рівня нівеліра в нуль-пункт: спочатку двома підйомними гвинтами виводять рівень на середину, обертаючи їх в протилежних напрямках, потім третім гвинтом коректують його положення (рис. 5.5).

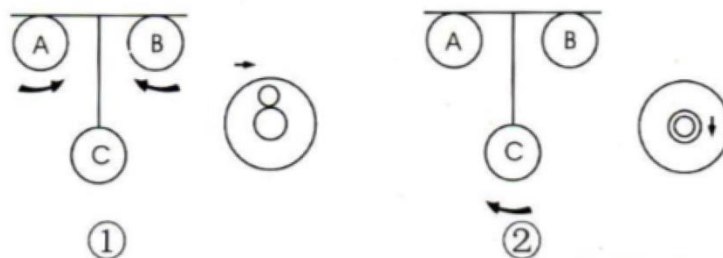


Рис. 5.5. Встановлення круглого рівня

Точне встановлення приладу в горизонтальне положення здійснюється автоматично за допомогою компенсатора кута нахилу.

### 5.4.3. Виконання перевірок і юстировки нівеліра

**1. Перевірка круглого рівня:** вісь круглого рівня має бути паралельною вертикальній осі обертання інструмента.

Для виконання цієї перевірки необхідно: встановити круглий рівень між двома підйомними гвинтами і, повертаючи їх у протилежних напрямках, вивести пухирець рівня в нуль-пункт; повернути інструмент на  $180^\circ$ . Пухирець повинен залишитися в центрі рівня (рис.5.6).

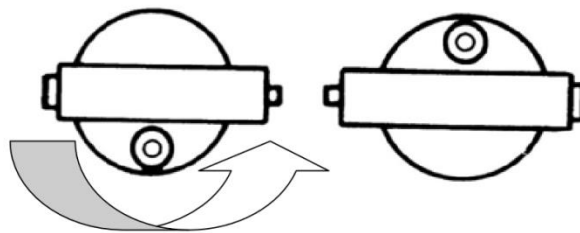


Рис.5.6. Перевірка круглого рівня

При невиконанні умови (рис. 5.7, пол.2) необхідно зробити юстировку. Для цього, повертаючи підйомний гвинт, зміщують пухирець на половину відхилення (пол.3) від центру рівня (1). Другу половину відхилення виправляють за допомогою юстировочних гвинтів. Перевірку повторюють.

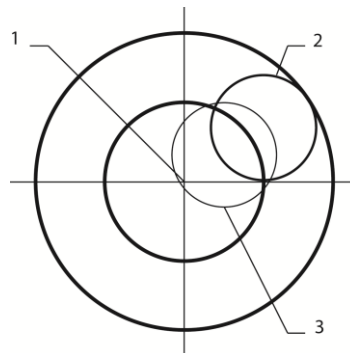


Рис. 5.7. Проведення юстировки круглого рівня

**2. Перевірка правильності встановлення сітки ниток:** вертикальна сітка має бути паралельна осі нівеліра.

Після встановлення нівеліра на відстані 25...30 м у захищеному від вітру місці підвісити на тонкому шнурі висок і сумістити його з одним кінцем вертикальної нитки. Якщо другий кінець нитки відходить від шнура виска не більш як на 0,5 мм, то умову виконано. У протилежному випадку треба відділити окулярну частину труби, послабити гвинти, якими прикріплюється сітка до корпусу труби, і повернути сітку в потрібний бік. Для контролю цю дію треба повторити, після чого сітку закріпити і пригвинтити окуляр.

**3. Перевірка головної геометричної умови:** вісь циліндричного рівня має бути паралельна візирній осі.

Для виконання цієї перевірки необхідно встановити інструмент приблизно посередині між двома точками  $A$  і  $B$ , розташованими на відстані 50-70 м одна від одної (рис. 5.8, а). В точках  $A$  і  $B$  встановлюються нівелірні рейки. Беруть відлік  $a_1$  за рейкою  $A$  і відлік  $b_1$  за рейкою  $B$ . При цьому перевищення між точками становить:

$$\Delta h = a_1 - b_1.$$

Далі встановлюють інструмент на відстані 1-2 м від рейки  $A$  (рис. 5.8, б) і беруть відлік  $a_2$  по рейці  $A$  і відлік  $b_2$  по рейці  $B$ . Якщо виконується умова:

$$(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \leq 3\text{мм},$$

то інструмент не потребує юстировки.

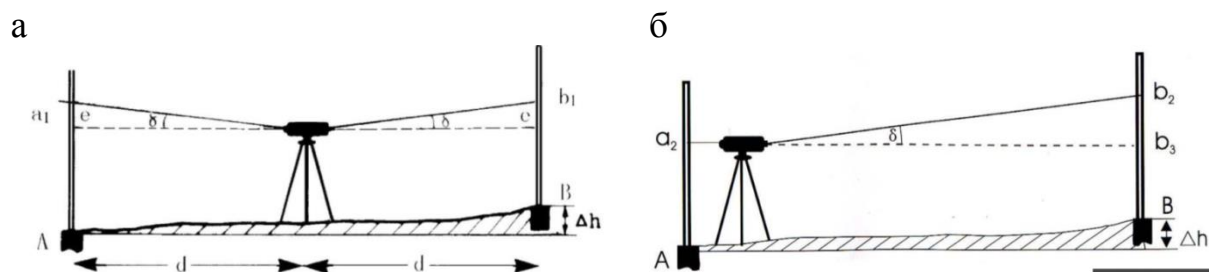


Рис. 5.8. Схема перевірки головної геометричної умови нівеліра

Якщо умова не виконується, наводять трубу на рейку  $B$ , відділяють окулярну частину труби і юстировочними гвинтами встановлюють відлік  $b_3$  на рейці  $B$ :  $b_3 = a_2 - \Delta h$ . Повторюють всі пункти, поки умова не буде виконана.

#### **5.4.4. Проведення поздовжнього геометричного нівелювання**

В процесі нівелювання трасу розбивають на окремі пікети з відстанями між ними 60 або 100 м. Нівелювання траси проводять способом «нівелювання з середини». Під час нівелюванні траси зв'язуючі точки (пікети) визначають з контролем, тобто перевищення між ними визначають двічі - за чорною і червоною рейками. Проміжні точки, які встановлюються в місцях перегину рельєфу та інших характерних точках, що не збігаються з пікетами, нівелюють один раз. Контроль усього нівелірного ходу виконується подвійним нівелюванням.

Порядок проведення польових робіт і опрацювання результатів вимірювань проводять у такій послідовності.

1. Заповнюють журнал геометричного нівелювання (табл. 5.1.). У графі 1 журналу записують номер станції, у графі 2 – номери пікетів і проміжних точок.

2. Встановлюють нівелір посередині між репером  $R$  і пікетом  $0$ . Візують трубу нівеліра зі станції 1 на рейку, встановлену вертикально на точку  $R$  (рис. 5.9), висота якої відома ( $H_R = 153,611$  м), беруть задній відлік за чорною рейкою  $a'_1 = 615$  мм, за червоною рейкою  $a''_1 = 5304$  мм, записують в графу 3 табл. 5.1. Потім візують на рейку, встановлену в точці  $0$ , беруть передній відлік за чорною рейкою  $b'_1 = 1645$  мм, за червоною рейкою  $b''_1 = 6333$  мм, записують у графу 4.

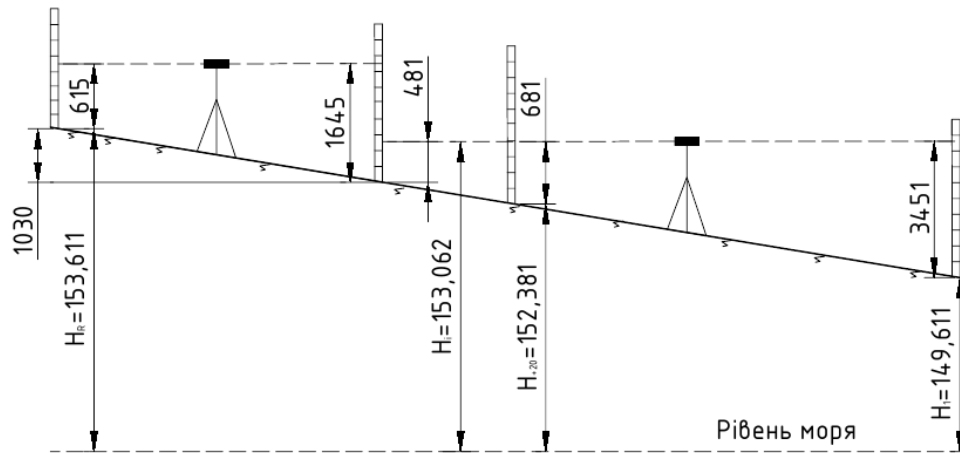


Рис. 5.9. Схема поздовжнього геометричного нівелювання

3. Не знімаючи нівеліра зі станції обчислюють перевищення між точками  $R$  і  $O$  за формулою:

$$h_1' = a_1' - b_1' = 615 - 1645 = -1030 \text{ мм}, \quad (5.1)$$

$$h_1'' = a_1'' - b_1'' = 5304 - 6333 = -1029 \text{ мм},$$

і записують в графу 6 (табл. 5.1).

Обчислюють різницю перевищень і порівнюють її з допустимим значенням:

$$\Delta h = h_1' - h_1'' = -1030 - (-1029) = -1 \text{ мм} \leq 3 \text{ мм}. \quad (5.2)$$

Різниця між здобутими значеннями не перевищує  $\pm 3$  мм, тому в графі 7 записують середнє значення:

$$h_1 = \frac{h_1' + h_1''}{2} = \frac{(-1030) + (-1029)}{2} = -1029,5 \text{ мм} \quad (5.3)$$

з округленням до парного значення:  $h \approx -1030$  мм.

Обробка має проводитися на станції відразу після зняття відліків. Якщо розбіжності перевищують допустимі, то вимірювання повторюють.

Так само виконується зйомка і первинна обробка результатів зйомки на станції 2. За наявності проміжної точки відлік ( $b_+ = 681$  мм) беруть за чорною рейкою, встановленою на цій точці, і записують у графу 5.

Таблиця 5.1.

**Журнал геометричного нівелювання**

| Номер станції | Номер точки (пікету) | Відліки за рейкою |                  |                     | Перевіщення $h', h''$ , мм | Середні перевіщення $h$ , мм | Горизонт інструмента $H_i$ , м | Абсолютна відмітка $H$ , м |
|---------------|----------------------|-------------------|------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|               |                      | задні $a$ , мм    | передні $b$ , мм | проміжні $b_+$ , мм |                            |                              |                                |                            |
| 1             | 2                    | 3                 | 4                | 5                   | 6                          | 7                            | 8                              | 9                          |
| 1             | R                    | 615               |                  |                     | -1030                      |                              |                                | 153,611                    |
|               | 0                    | 5304              | 1645<br>6333     |                     | -1029                      | -1030                        |                                | 152,581                    |
| 2             | 0                    | 481               |                  |                     |                            |                              |                                | 152,581                    |
|               | +20                  | 5169              |                  | 681                 | -2970                      |                              |                                | 152,381                    |
|               | 1                    |                   | 3451<br>8138     |                     | -2969                      | -2970                        | 153.062                        | 149,611                    |

4. На кожній сторінці виконують контроль, для чого підсумовують задні відліки  $\sum a$  (чорні та червоні) – за графою 3, передні відліки  $\sum b$  – за графою 4 і перевіщення  $\sum h$  – за графами 6 і 7. Здобуті результати записують у кінці таблиці (на кожній сторінці).

При правильних розрахунках має виконуватися умова:

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{\sum h' - \sum h''}{2} = \sum h. \quad (5.4)$$

5. Аналогічно виконують зйомку і обробку результатів зйомки зворотним ходом. Загальну нев'язку перевіщень у прямому і зворотному ходах  $f_h$  підраховують відразу після закінчення польових робіт. Значення нев'язки (різниця між виміряними значеннями  $\sum h$  і теоретичною сумою  $\sum h_T$ ) не повинна перевищувати допустимої величини, яка для технічного нівелювання становить:

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 50\sqrt{L}$$

або

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 10\sqrt{n}$$

де  $L$  – довжина ходу, км;  $n$  – число станцій у ході.



Якщо нівелювання проводилося прямим і зворотним ходом (подвійне нівелювання), то

$$f_n = \sum h_{\text{пр}} - \sum h_{\text{зв}}$$

При виконанні умови  $f_n \leq f_{n \text{ доп}}$  виконують ув'язку нівелірного ходу, яка полягав у розподіленні на всі перевищення нев'язки  $f_n/n$  зі зворотним знаком. Поправку округлюють з точністю до 1 мм.

Пункт 5 виконується у період геодезичної практики.

6. Обчислюють абсолютну відмітку точки  $O$  відносно відомої абсолютної відмітки  $H_R$  за формулою:

$$H_0 = H_R + h_1 = 153,611 + (-1,030) = 152,081 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Заносять до графі 9 (табл. 5.1). Аналогічно розраховують абсолютні відмітки всіх інших пікетів.

Після розрахунку останньої відмітки перевіряють загальне перевищення між кінцевими точками. Для цього випадку

$$H_1 - H_R = 149,611 - 153,611 = -4,000 \text{ м} = \sum h \quad (5.6)$$

7. Для кожної станції, де є проміжні точки (наприклад, станція 2), обчислюють горизонт інструмента та абсолютні відмітки цих точок за формулами:

$$H_i = H_0 + a = 152,581 + 0,481 = 153,062 \text{ м,} \quad (5.7)$$

$$H_{0+20} = H_i - b_+ = 153,062 - 0,681 = 152,381 \text{ м.} \quad (5.8)$$

Отримані результати заносять до таблиці 5.1.

## 5.5. Висновки

У висновках вказуються виявлені похибки, їх розмір, порівнюються з допустимими значеннями.

## 5.6. Запитання для самоперевірки

1. Що таке нівелювання, які існують способи нівелювання?

2. Які ви знаєте типи нівелірів, їх призначення?
3. Назвіть основні складові частини оптичного і електронного нівелірів. Яка різниця між ними?
4. Назвіть послідовність виконання перевірок нівеліра SouthNL-20. У чому полягає їх сутність?
5. Як виконується контроль за точністю нівелювання?
6. Які типи нівелірних рейок використовуються для нівелювання?
7. Як обчислюють абсолютні відмітки пікетів?
8. Що таке горизонт інструмента, як його обчислюють? Як обчислюють абсолютну відмітку проміжної точки?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6**

### **ТАХЕОМЕТРИЧНА ЗЙОМКА.**

### **СКЛАДАННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ**

Мета роботи – вивчити методику виконання тахеометричної зйомки, набути навичок камеральної обробки результатів зйомки і побудови топографічного плану.

#### **6.1. Завдання по роботі**

- 6.1.1. Провести докладну тахеометричну зйомку ділянки місцевості.
- 6.1.2. Провести обробку результатів тахеометричної зйомки. Визначити горизонтальну довжину, перевищення, абсолютні відмітки точок.
- 6.1.3. За отриманими даними побудувати топографічний план ділянки місцевості.

#### **6.2. Устаткування, прилади і матеріали для виконання роботи**

Теодоліт-тахеометр, штатив, нівелірна рейка, висок, мірна стрічка.

### **6.3. Загальні положення. Порядок виконання роботи**

Тахеометрична зйомка – один з видів наземної топографічної зйомки, що виконується зазвичай на невеликих ділянках місцевості з метою отримання планів крупних масштабів для інженерних вишукувань із зображенням ситуації і рельєфу.

Зйомка включає три основні операції: створення зйомочного геодезичного обґрунтування, виконання самої зйомки і камеральні роботи.

В якості зйомочного обґрунтування тахеометричної зйомки приймають теодолітно-тахеометричні ходи. Зйомку предметів, контурів і рельєфу місцевості проводять полярним способом, а відмітки точок визначають тригонометричним нівелюванням. Всі вимірювання виконують при одному наведенні зорової труби приладу на рейку. Планове положення рейкової точки визначають вимірюванням відстані далекоміром і взяттям відліку по лімбу горизонтального круга тахеометра, що орієнтований на початковий напрямок. Перевищення визначають за кутом нахилу і відстанню до точки.

Перед початком зйомки виконують всі основні перевірки тахеометра.

#### **6.3.1. Порядок проведення польових робіт під час виконання тахеометричної зйомки**

1. Встановлюють тахеометр над точкою зйомочного обґрунтування (наприклад, точкою *I*) і приводять його в робоче положення. За допомогою нівелірної рейки вимірюють висоту інструмента *i*. Результат записують в журнал тахеометричної зйомки (табл. 6.1). Для спрощення наступних обчислень рекомендується відмічати висоту приладу *i* на рейці і в подальшому візувати трубу на цю відмітку.

2. Наводять трубу на одну з точок зйомочного обґрунтування (наприклад, точку *II*) спочатку при положенні КП, потім при положенні КЛ. Беруть відліки по вертикальному кругу і записують в журнал (табл. 6.1, кол. 4). Визначають

місце нуля вертикального круга (див. л.р. № 3 (п. 3.3.5)) і записують його в журнал тахеометричної зйомки (табл. 6.1, кол.5).

3. Орієнтують лімб горизонтального круга на точку *II* зйомочного обґрунтування при положенні КЛ. Для цього суміщають відліковий індекс алідади з нульовим штрихом лімба горизонтального круга, обертаючи зорову трубу навколо осі при закріпленому лімбі і відкріпленій алідаді. Далі закріплюють алідаду, відпускають лімб і візують зорову трубу на обрану точку. Після цього лімб закріплюють. На шкалі лімба горизонтального круга повинно бути: 0°00'. В даному положенні для вимірювання кутів на станціях достатньо відкріпити алідаду, навести зорову трубу на рейку і взяти відлік по горизонтальному кругу. Всі подальші вимірювання проводяться при положенні КЛ.

4. На кожній станції оглядають ділянку зйомки, виявляють характерні точки ситуації і рельєфу – рейкові точки. Під час зйомки ситуації рейкові точки розташовуються на всіх поворотах контуру, під час зйомки рельєфу – на характерних точках рельєфу (на підвищеннях, точках перегину скату і т.і.). Рейкові точки мають наскрізну нумерацію на всій ділянці від першої до останньої станції.

5. В процесі вимірювань послідовно встановлюють рейку на всі намічені точки. При візуванні на рейку вертикальну нитку сітки суміщають з віссю рейки, а горизонтальну – з меткою, що відповідає висоті приладу.

Відліки беруть в наступній послідовності:

- по горизонтальному кругу (з точністю до 1') (див. л.р.№3 п.3.3.4);
- по вертикальному кругу (з точністю до 1') (див. л.р.№3 п. 3.3.5);
- по далекоміру (з точністю до 0,1 м) (див. л.р.№2 п. 2.3.2).

Результати спостережень записують в тахеометричний журнал відповідно в кол. 2, 4, 3.

Таблиця 6.1.

**Журнал тахеометричної зйомки**

| Номер точки  | Відліки                  |                    |                            | Місце нуля МО | Кут нахилу $v$ | Горизонтальна відстань $d$ , м | Перевищення $h$ , м | Абсолютні відмітки $H$ , м | Прийматка   |
|--|--------------------------|--------------------|----------------------------|---------------|----------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------|
|  | за горизонтальним кругом | за далекоміром $D$ | за вертикальним кругом $L$ |               |                |                                |                     |                            |             |
| 1  | 2                        | 3                  | 4                          | 5             | 6              | 7                              | 8                   | 9                          | 10          |
| Станція I  |                          |                    |                            |               |                |                                |                     |                            |             |
| Лімба орієнтований та станцію II при КЛ, $i=1380$ , $H_I=176,16$ |                          |                    |                            |               |                |                                |                     |                            |             |
| При КП   |                          |                    |                            |               |                |                                |                     |                            |             |
| II   | 61°14'                   |                    | -1°22'                     |               |                |                                |                     |                            |             |
| При КЛ   |                          |                    |                            |               |                |                                |                     |                            |             |
| II   | 0°00'                    | 139,2              | 1°24'                      | 0°01'         | 1°23'          | 139,2                          | 3,36                | 179,52                     |             |
| 1.   | 17°05'                   | 53,1               | -0°25'                     |               | -0°26'         | 53,1                           | -0,40               | 175,76                     | стежка      |
| 2.   | 42°15'                   | 72,0               | -3°00'                     |               | -3°01'         | 71,8                           | -3,78               | 172,38                     | межа городу |
| 3.   | 103°26'                  | 39,1               | -3°04'                     |               | -3°05'         | 39,0                           | -2,08               | 174,08                     | - «» -      |
| 4.   | 144°11'                  | 53,9               | -3°01'                     |               | -3°02'         | 53,8                           | -2,85               | 173,31                     | - «» -      |
| ...  | ...                      | ...                | ...                        |               | ...            | ...                            | ...                 | ...                        | ...         |
|  |                          |                    |                            |               |                |                                |                     |                            |             |
| II   | 0°02'                    |                    |                            |               |                |                                |                     |                            |             |

6. В процесі зйомки паралельно з польовим журналом складається абрис (схематичне креслення ділянки місцевості) для кожної станції (рис. 6.1). На абрисі показують положення станції, напрямки на суміжні точки зйомочного обґрунтування, розташування рейкових точок, об'єкти зйомки. Абрис повинен дати повне уявлення про місцевість зйомки як по ситуації, так і по рельєфу. Номери рейкових точок в журналі і на абрисі повинні співпадати.

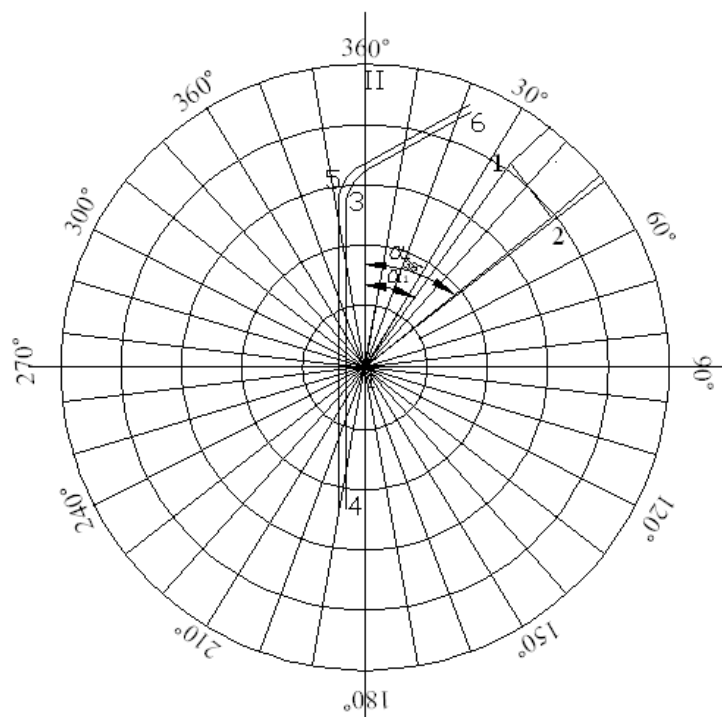


Рис. 6.1. Абрис тахеометричної зйомки для станції I, орієнтованої на станцію II

7. По закінченні робіт на станції для контролю трубу знов візують на початковий напрямок, беруть відлік і записують у графу 2. Розходження з початковим значенням не повинно перевищувати 3'. При більших розходженнях спостереження на станції повторюють.

### 6.3.2. Обробка журналу тахеометричної зйомки

Обробку журналу тахеометричної зйомки починають з перевірки записів в польових журналах і абрисах.

Розрахунки для кожної станції проводять в наступному порядку, результати записують в табл. 6.1.

1. Розраховують місце нуля вертикального круга за формулою:

$$MO = \frac{L + \Pi}{2} \quad (6.1)$$

Записують результат в кол. 5 табл. 6.1.

Розраховують кути нахилу (вертикальні кути) для пікету і кожної точки станції за формулою:

$$\vartheta = Л - МО \quad (6.2)$$

Результати записують в кол. 6 табл. 6.1. Місце нуля і вертикальні кути визначають з точністю 1'.

2. Визначають горизонтальне закладання ліній за формулою:

$$\text{при } \vartheta > 2^\circ \quad d = D \cdot \cos^2 \vartheta \quad (6.3)$$

$$\text{при } \vartheta \leq 2^\circ \quad d = D$$

Результати записують в графу 7 табл. 6.1.

3. Перевищення між станцією і рейковою точкою визначають методом тригонометричного нівелювання (рис. 6.2) за формулою:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \vartheta + i - V,$$

де  $i$  – висота інструменту;  $V$  – відлік за рейкою.

Оскільки в процесі вимірювань зорову трубу наводять на висоту інструменту  $i$ , тобто  $V=i$ , формула прийме вигляд:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \vartheta. \quad (6.4)$$

Перевищення визначають з точністю 0,01 м. Результати записують в кол. 8 табл. 6.1.

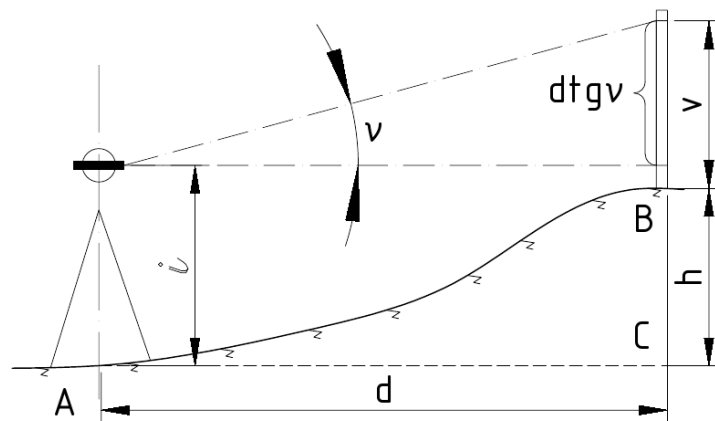


Рис. 6.2. Схема тригонометричного нівелювання

4. Розраховують абсолютні відмітки рейкових точок за формулою:

$$H_i = H_{\text{ст}} + h_i \quad (6.5)$$

де  $H_{\text{ст}}$  – абсолютна відмітка станції, з якої ведеться спостереження, м;  $h_i$  – перевищення між станцією і рейковою точкою.

Абсолютні відмітки рейкових точок визначають з точністю 0,01 м. Результати записують в кол. 9 табл. 6.1.

### Приклад розрахунку елементів тахеометричної зйомки

Приводимо приклад обробки результатів тахеометричної зйомки для даних, наведених в табл. 6.1.

Місце нуля вертикального круга визначаємо за формулою (6.1):

$$MO = \frac{1^\circ 24' - 1^\circ 22'}{2} = 0^\circ 01'$$

Кути нахилу рейкових точок визначаємо за формулою (6.2):

$$\vartheta_{I-II} = 1^\circ 24' - 0^\circ 01' = 1^\circ 23'$$

$$\vartheta_{I-1} = -0^\circ 25' - 0^\circ 01' = -0^\circ 26' \text{ і т.д.}$$

Горизонтальне закладання відповідних ділянок визначаємо за (6.3):

$$d_{I-II} = D_{I-II} = 139,2 \text{ м} \quad [\vartheta_{I-II} = 1^\circ 23' \leq 2^\circ]$$

$$d_{I-2} = 72,0 \cdot \cos^2(-3^\circ 01') = 71,8 \text{ м} \quad [\vartheta_{I-2} = |-3^\circ 01'| > 2^\circ]$$

і т.д.

Перевищення між станцією  $I$  і рейковими точками розраховуємо за формулою (6.4):

$$h_{I-II} = 139,2 \cdot \operatorname{tg} 1^\circ 23' = 3,36 \text{ м;}$$

$$h_{I-1} = 53,1 \cdot \operatorname{tg}(-0^\circ 26') = -0,40 \text{ м; і т.д.}$$

Абсолютні відмітки розраховуємо за формулою (6.5):

$$H_{II} = 176,16 + 3,36 = 179,52 \text{ м;}$$

$$H_1 = 176,16 + (-0,40) = 175,76 \text{ м; і т.д.}$$



### 6.3.3. Побудова топографічного плану

Побудова топографічного плану може здійснюватися за допомогою графічної програми AutoCad або робиться вручну за допомогою креслярських приладів. Побудова топографічного плану ділянки місцевості включає: побудову координатної сітки, нанесення на план точок теодолітного ходу, побудову контурів місцевості за результатами тахеометричної зйомки, проведення горизонталей і оформлення плану.

План тахеометричної зйомки складають в масштабах 1:500 – 1:2000. Висоту перерізу приймають в залежності від рельєфу 0,5 або 1,0 м.

Порядок побудови топографічного плану:

1. На листі креслярського паперу формату A2 або A3 будують координатну сітку зі стороною квадрату 10 см. Побудовану сітку підписують по осях  $X$  і  $Y$  у відповідності до розташування ділянки і масштабу плану. Початок координат обирають таким чином, щоб ділянка зйомки розмістилася у центрі.

2. Точки зйомочного обґрунтування наносять на план за координатами. Перевіряють довжини ліній. Розбіжність не повинна перевищувати  $\pm 0,3$  мм. Точки тахеометричного ходу з'єднують тонкими лініями. Побудоване планове обґрунтування служить опорою для нанесення контурів місцевості і рейкових точок.

3. З кожної станції за допомогою транспортира і лінійки наносять на план зняті рейкові точки з використанням даних табл.6.1 (кол. 2, 7). Кожну точку підписують (в чисельнику вказують номер точки, у знаменнику – її висоту). За цими точками наносять ситуацію і перевіряють за абрисом. Після нанесення ситуації всієї ділянки треба зробити звірку з місцевістю. Об'єкти зйомки викреслюють в умовних знаках чорним кольором.

4. Побудову рельєфу місцевості здійснюють способом інтерполяції за допомогою лінійної палетки. Спочатку наносять водорозділи, лощини і напрям

скатів. Висотні точки на ділянках без перегинів з'єднують і на лініях інтерполюванням відмічають висоти горизонталей для заданої висоти перерізу  $h$ . З'єднуючи точки з однаковими відмітками плавною лінією, дістають горизонталі. Горизонталі наносять коричневим кольором, відмітки горизонталей записують в розривах горизонталей, при цьому верх цифр повинен бути спрямований в бік підвищення місцевості. Оформлення плану здійснюють у відповідності до умовних знаків для топографічних планів масштабу 1:500.

#### **6.4. Висновки**

У висновках вказують головні результати роботи, оцінюють точність розрахунків, підтверджують достатність здобутої точності.

#### **6.5. Запитання для самоперевірки**

1. Які види топографічних зйомок застосовують для отримання топографічних планів і карт?
2. В чому полягає суть теодолітної зйомки? Які ви знаєте способи зйомки подробиць?
3. В чому полягає суть тахеометричної зйомки? Чим вона відрізняється від теодолітної?
4. В якій послідовності проводиться обробка результатів тахеометричної зйомки і побудова топографічного плану?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7**

### **НІВЕЛЮВАННЯ ТРАСИ.**

#### **ПОБУДОВА ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ТРАСИ**

Мета роботи – набути навичок камеральної обробки результатів нівелювання, побудови поздовжнього профілю траси, визначення об'ємів земляних робіт.

#### **7.1. Завдання по роботі**

7.1.1. Провести обробку результатів нівелювання траси за заданим варіантом, визначити абсолютні відмітки пікетів і проміжних точок.

7.1.2. За здобутими результатами обробки побудувати фактичний (чорний) і проектний (червоний) профілі заданої ділянки траси. Визначити червоні і сині відмітки.

7.1.3. Визначити головні параметри кривої, побудувати криву, винести пікет на криву.

7.1.4. Визначити об'єми земляних робіт.

#### **7.2. Загальні положення. Порядок виконання роботи**

##### **7.2.1. Обробка результатів нівелювання траси**

В процесі польових робіт під час проведення нівелювання траси заповнюють журнал геометричного нівелювання (табл. 7.1), де вказують номери станцій, номери пікетів, задні і передні відліки за рейкою в кожному пікеті і відліки у проміжних точках. Далі проводять обробку результатів нівелювання траси згідно п. 5.4.4 (див. л.р. № 5): визначають перевищення між пікетами, горизонт інструмента, абсолютні відмітки пікетів і проміжних точок. Роблять посторінковий контроль. Результати розрахунків заносять до табл. 7.1.

### **7.2.2. Порядок побудови поздовжнього профілю траси**

1. Вибирають масштаб і відмітки умовного горизонту. Горизонтальний масштаб беруть 1:2000 для нівелірного ходу 1 км і 1:1000 – для ходу 500 м; вертикальний масштаб – відповідно 1:200 і 1:100. Умовний горизонт слід вибрати таким, щоб найнижча точка профілю, була розміщена вище за лінію горизонту на 3...6 см; відмітка горизонту має бути кратною 10 м.

2. Розбивають сітку для побудови поздовжнього профілю. Сітка будується нижче за лінію умовного горизонту і складається з дев'яти горизонтальних граф (рис. 7.1).

3. На основі журналу поздовжнього нівелювання розбивають пікетаж і заповнюють графи 7, 8. У сьомій графі вказують відстань до проміжних точок.

4. Вписують у графу 6 абсолютні відмітки пікетів і проміжних точок (чорні відмітки) з табл. 7.1, округливши їх до 1 см.

5. На лінії умовного горизонту у вибраному масштабі відповідно до графи 7 роблять відмітки пікетів і проміжних точок (засічки), з них опускають перпендикуляри, на яких у масштабі відкладають чорні відмітки. З'єднавши отримані точки прямими чорними лініями, будують чорний профіль.

6. Заповнюють графу 2 - план траси. Контури на плані й позначення місцевих предметів зображати загальноприйнятими топографічними умовними знаками. У графі 1 сітки профілю зробити написи, які вказують характер ґрунту.

7. Наносять проектну червону лінію на профіль траси. При цьому слід виходити з таких міркувань:

об'єм земляних робіт повинен бути мінімальним;

об'єми виїмок та насипів на всьому профілі мають бути приблизно рівними;

нахил проектної лінії не повинен перевищувати заданого (для залізниці 18-40 ‰, шосейних доріг – 60-180 ‰).

Таблиця 7.1.

**Журнал геометричного нівелювання**

| Номер станції | Номер точки (пікета) | Відліки за рейкою |              |                | Перевіщення $h', h''$ | Середні перевіщення $h$ | Горизонт інструмента $H_i$ | Абсолютна відмітка $H$ |
|---------------|----------------------|-------------------|--------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|
|               |                      | задні $a$         | передні $b$  | проміжні $b_+$ |                       |                         |                            |                        |
| 1             | 2                    | 3                 | 4            | 5              | 6                     | 7                       | 8                          | 9                      |
| 1             | R                    | 615<br>5304       |              |                | -1030                 | -1030                   |                            | 153,611                |
|               | 0                    |                   | 1645<br>6333 |                | -1029                 |                         |                            | 152,581                |
| 2             | 0                    | 481<br>5169       |              | 681            | -2970                 | -2970                   | 153,062                    | 152,581                |
|               | +20                  |                   |              |                | -2969                 |                         |                            | 152,381                |
|               | 1                    |                   | 3451<br>8138 |                |                       |                         |                            | 149,611                |
| 3             | 1                    | 1330<br>6017      |              |                | -327                  | -328                    |                            | 149,611                |
|               | 2                    |                   | 1657<br>6346 |                | -329                  |                         |                            | 149,283                |
| 4             | 2                    | 1246<br>5934      |              | 2412           | -566                  | -567                    | 150,529                    | 149,283                |
|               | +65                  |                   |              |                | -568                  |                         |                            | 148,117                |
|               | 3                    |                   | 1812<br>6502 |                |                       |                         |                            | 148,716                |
| 5             | 3                    | 1021<br>5709      |              |                | -239                  | -240                    |                            | 148,716                |
|               | 4                    |                   | 1260<br>5949 |                | -240                  |                         |                            | 148,476                |
| 6             | 4                    | 2346<br>7034      |              |                | +252                  | +251                    |                            | 148,476                |
|               | 5                    |                   | 2094<br>6784 |                | +250                  |                         |                            | 148,727                |

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{42206 - 51971}{2} = -4882 \text{ мм}$$

$$\frac{\sum h' + \sum h''}{2} = \frac{-9765}{2} = -4882 \text{ мм}$$

$$\sum h = -4884 \text{ мм}$$

$$H_6 - H_R = 148,727 - 153,611 = 4,884 \text{ м}$$

Масштаби: горизонтальний 1:5000  
вертикальний 1:200

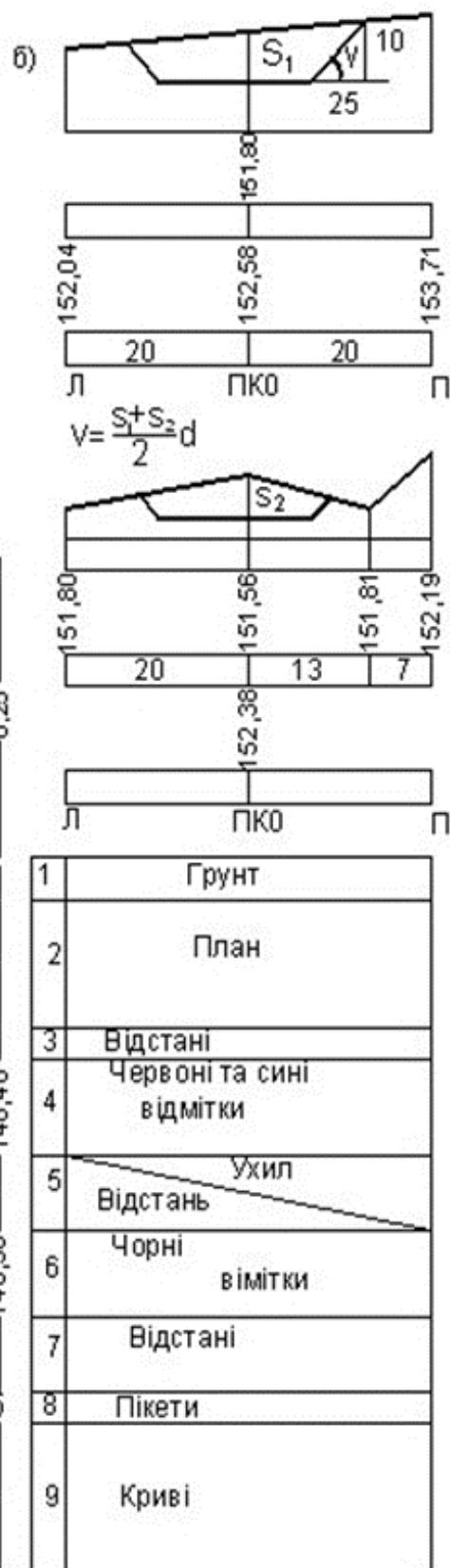
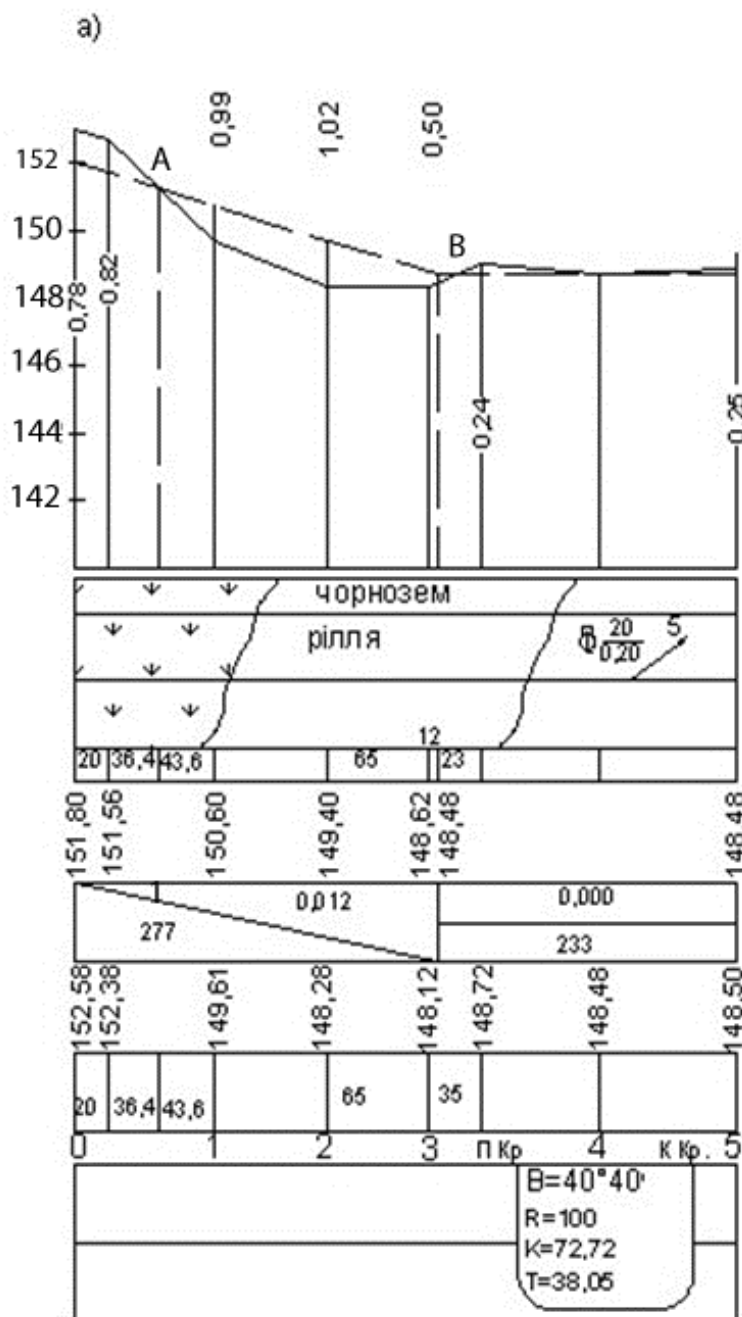


Рис.7.1. Побудова профілю траси: а – поздовжнього, б – поперечного

Бажано, щоб перехід від додатного ухилу до від'ємного для залізних доріг мав горизонтальну ділянку траси не менш як 100 м; часта зміна напрямів ухилів не рекомендується.

Початкову і кінцеву відмітки проектної лінії (часто це місця примикання до залізничних станцій, до автостради тощо) задають або визначають графічно.

Для визначення проектного нахилу треба розглядати кілька варіантів розміщення проектної лінії, наносячи її олівцем на профіль. Виходячи з викладених вимог вибрати кращий варіант, лінію навести червоним кольором.

8. За профілем графічно визначають різницю відміток початку і кінця відрізка червоної лінії даного кута нахилу  $h$  (м) і відповідне значення горизонтального закладання  $d$  (м) і визначають **ухил  $i$** :

$$i = \operatorname{tg} \vartheta = \frac{h}{d} = \frac{H'_k - H'_n}{d} \quad (7.1)$$

де  $H'_n, H'_k$  – відмітки відповідно початку і кінця відрізка червоної лінії даного кута нахилу, м.

Відрізки червоних ліній зі сталим ухилом або горизонтальні креслять у 5-й полосі сітки. На відповідній ділянці проводять діагональ, яка показує напрям ухилу; над лінією червоним кольором проставляють відповідний ухил  $i$ , під лінією – довжину ділянки  $d$ .

9. Обчислюють **абсолютні відмітки проектної лінії** (червоні відмітки)  $H'_l$  (м) для кожного пікету і кожної проміжної (плюсової) точки. Якщо червона відмітка початкової точки  $H'_0$  задана, то проектна відмітка наступної точки визначається за формулою:

$$H'_1 = H'_0 + id, \quad (7.2)$$

де  $d$  – відстань між відповідними точками, м.

Забороняється визначати відмітки проектної лінії графічно. Обчислені відмітки записують червоним кольором в графу 4.

10. Визначають **робочі відмітки**  $h$  (м) як різницю чорних і червоних відміток на відповідному пікеті і плюсовій точці:

$$h_0 = H'_0 - H_0, \quad (7.3)$$

$$h_1 = H'_1 - H_1 \text{ і т.д.}$$

За робочими відмітками визначають висоту насипу або глибину виїмки. Для насипу робочі відмітки пишуть над проектною лінією, для виїмки – під нею з додатнім знаком.

11. Обчислюють **відстань до точок нульових робіт**  $x$  (м) для кожного з перетинів чорних і червоних ліній (рис. 7.2) за формулою:

$$x = \frac{dh_1}{h_1 + h_2} \quad (7.4)$$

де  $d$  – відстань між найближчими точками, м;  $h_1, h_2$  – робочі відмітки, м.

Відстань до точок нульових робіт записують у графу 3 синім кольором.

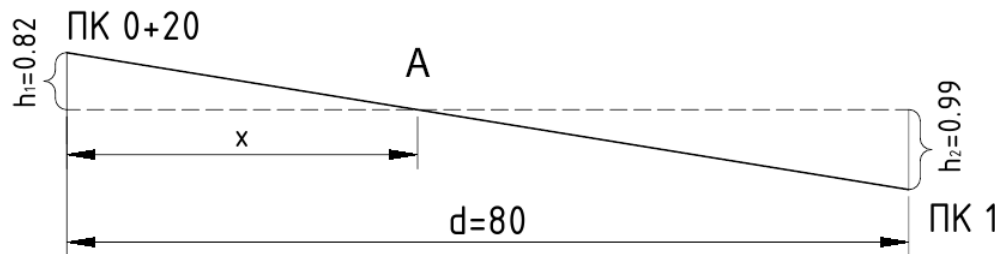


Рис. 7.2. Схема визначення відстані до точки нульових робіт

12. **Абсолютні відмітки точок нульових робіт** (сині відмітки) визначають як і відмітки проектної лінії, – за розрахованими відстанями і ухилом проектної лінії. Наприклад, для точки нульових робіт  $A$ , абсолютна відмітка визначається:

$$H_A = H'_{+20} + ix. \quad (7.5)$$



### Приклад розрахунку основних елементів траси

Приводимо розрахунок основних елементів траси для даних, наведених в табл. 7.1 і рис.7.1.

Ухил червоної лінії даного кута нахилу визначаємо за формулою (7.1):

$$i = \frac{148,48 - 151,8}{277} = -0,012$$

Абсолютні відмітки проектної лінії (червоні відмітки) розраховуємо за формулою (7.2). Для точок ПК0+20 і ПК1  $H'$  становить:

$$H'_{+20} = 151,80 + (-0.012) \cdot 20 = 151,56,$$

$$H'_1 = 151,56 + (-0.012) \cdot 80 = 150,60.$$

Решта точок розраховується аналогічно.

Знаходимо робочі відмітки за формулою (7.3):

$$h_0 = 151,80 - 152,58 = 0,78,$$

$$h_{+20} = 151,56 - 152,38 = 0,82,$$

$$h_1 = 150,60 - 149,61 = 0,99 \text{ і т.д.}$$

Відстань до точки нульових робіт  $A$ , що знаходиться між точками 0+20 і 1, відстань між якими 80 м (рис.2), визначаємо за формулою (7.4):

$$x_A = \frac{80 \cdot 0,82}{0,82 + 0,99} = 36,4$$

Абсолютну відмітку точки нульових робіт  $A$  (синю відмітку) знаходимо за формулою (7.5):

$$H_A = 151,56 + (-0.012) \cdot 36,4 = 151,12.$$

#### 7.2.3. Побудова колових кривих. Винесення пікету на криву

Для розбиття колової кривої необхідно знайти три головні точки кривої: початок кривої  $П_{кр}$ , середину кривої  $С_{кр}$  і кінець кривої  $К_{кр}$ . Кут повороту траси  $\theta$  визначають на місцевості в точці повороту  $B$  безпосереднім вимірюванням, радіус повороту  $R$  приймають в залежності від технічних вимог і місцевих умов.

Для розбиття кривої визначають наступні параметри (рис.7.3):

– тангенс

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \quad (7.6)$$

– бісектрису

$$B = R \left( \frac{1}{\cos \theta / 2} - 1 \right) \quad (7.7)$$

– довжину кривої (дугу  $AB'C$ )

$$K = \frac{\pi R \theta}{180^\circ} \quad (7.8)$$

– домір

$$Д = 2T - K \quad (7.9)$$

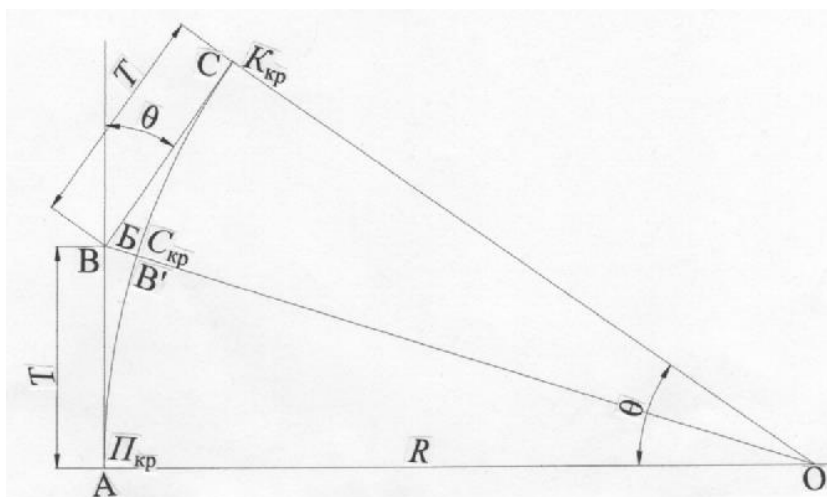


Рис.7.3. Розбивка головних точок колових кривих

При плануванні траси на місцевості усі пікети розбивають спочатку на тангенсах (ламаних лініях), а відстані відкладають з урахуванням домірів, тобто після початку кривої наступний пікет ПК4 виявиться на тангенсі на відстані  $l_4$  (рис.7.4) від початку кривої.

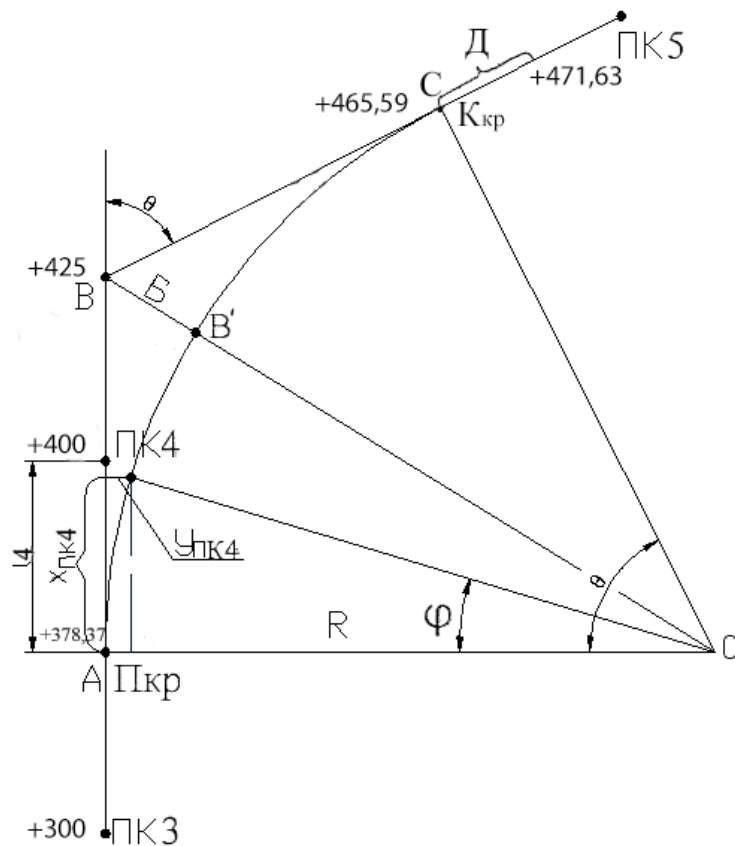


Рис. 7.4. Схема винесення пікету 4 з тангенса на криву

Для виносу цього пікету з тангенса на криву визначають довжину кривої  $k$  від початку кривої до ПК4 ( $k = l_4$ ) і величину кута  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{k \cdot 360}{2\pi R} \quad (7.10)$$

а також умовні координати пікету 4 на кривій:

$$x_{\text{ПК4}} = R \sin \varphi \quad (7.11)$$

$$y_{\text{ПК4}} = R - R \cos \varphi \quad (7.12)$$

### Приклад розрахунку параметрів кривої і винесення пікету на криву

Задано: точка повороту траси  $B$  закріплена на відмітці +425 м, кут повороту  $\theta$  становить  $50^\circ$ ,  $R = 100$  м. Обчислення параметрів проводимо за формулами (7.6) – (7.9) у такому порядку:

- тангенс:  $T = 100tg \frac{50^\circ}{2} = 46,63 \text{ м}$
- довжина кривої:  $K = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 50^\circ}{180^\circ} = 87,22 \text{ м}$
- початок кривої:  $\Pi_{кр} = 425 - 46,63 = 378,37 \text{ м}$
- кінець кривої:  $K_{кр} = 378,38 + 87,22 = 465,59 \text{ м}$
- домір:  $D = 2 \cdot 46,63 - 87,22 = 6,04 \text{ м}$

Для винесення ПК4 на криву визначаємо довжину відрізка  $l_4$ , що дорівнює  $k$ :

$$k = l_4 = \text{ПК4} - \Pi_{кр} = 400 - 378,37 = 21,63 \text{ м}$$

Визначаємо кут  $\varphi$  за формулою (7.10):

$$\varphi = \frac{21,63 \cdot 360}{2\pi \cdot 100} = 12,40^\circ = 12^\circ 24'$$

Умовні координати ПК4 на кривій визначаємо за формулами (7.11)-(7.12):

$$x_{п4} = 100 \cdot \sin 12^\circ 24' = 21,47 \text{ м}$$

$$y_{п4} = 100 - 100 \cos 12^\circ 24' = 2,33 \text{ м}$$

Отримані умовні координати відкладаємо від початку кривої ( $\Pi_{кр}$ ) і визначаємо положення ПК4 на кривій.

#### **7.2.4. Побудова поперечників. Визначення об'ємів земляних робіт**

За отриманими фактичними відмітками для кожного з пікетів, проміжних точок і точок поперечників ліворуч і праворуч від них будують поперечні профілі у масштабі (рис. 7.1, б).

По червоних відмітках на пікетах будують поверхню дороги відповідної ширини з нормативними кутами укосів бортів виїмок та насипів. За отриманими профілями графоаналітичним способом або планіметром визначають площі поперечників, що відповідають виїмкам або насипам на характерних точках, і визначають об'єми усіх виїмок і насипів на трасі.

Наприклад, для ділянки від ПК0 до точки нульових робіт т. А (рис. 7.1, а), розташованій на відстані  $x$  від ПК0<sub>+20</sub>, об'єм виїмки визначаємо як суму об'ємів на ділянках ПК0÷ПК0<sub>+20</sub> і ПК0<sub>+20</sub>÷т. А за формулою:

$$V_1 = \frac{S_0 + S_{0+20}}{2} \cdot d_{0-0+20} + \frac{S_{0+20} + S_A}{2} \cdot d_{0+20-A} \quad (7.13)$$

де  $S_0$ ,  $S_{0+20}$  – площі поперечників у відповідних точках, м<sup>2</sup>;  $S_A = 0$  – площа перерізу в точці нульових робіт, м<sup>2</sup>;  $d$  – поздовжня відстань між відповідними точками, м;  $d_{0+20-A} = x$  – відстань до точки нульових робіт, м.

### 7.3. Висновки

У висновках вказують головні результати роботи, оцінюють точність підрахунків, підтверджується достатність здобутої точності.

### 7.4. Запитання для самоперевірки

1. У якому порядку проводяться роботи з нівелювання траси? Суть цих робіт.
2. В якій послідовності проводиться обробка результатів нівелювання? Як обчислюються абсолютні відмітки пікетів і проміжних точок? Як проводиться посторінковий контроль?
3. Які вимоги висуваються до траси (червоної лінії) при проектуванні?
4. Що таке "точка нульових робіт"? Як знайти відстань до неї, її абсолютну відмітку?
5. Що таке ухил лінії? Як його знаходять для проектної ділянки траси?
6. Як визначаються головні параметри кривої? Як проводиться винесення пікету на місцевість?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Геодезія [Текст]: навч. посіб. / М.Т. Кириченко, Т.В. Косенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 196 с.
2. Инженерная геодезия: учеб. для студ. / Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев и др. – М.: Высш.шк., 2002. – 464 с.
3. Инженерная геодезия: учеб. для студ. строительных специальностей ВУЗов / Г.В. Багратуни, В.Н. Ганышин, Б.Б. Данилевич и др. – М.: Недра, 1984. - 344 с.
4. Основы геотроники. Электронные методы и средства геодезических измерений: учеб. пособие / А.Н. Голубев. – М.: МГУГК, 2003. – 85 с.